



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **Desenvolvimento de Biofluidos de Perfuração para Poços de Petróleos na Base Biodiesel e o Estudo de seus Parâmetros Reológicos**

**Autor: Onismar Reis Lopes**  
**Orientadora: Maria del Pilar Hidalgo Falla**

**Brasília, DF**  
**2018**  
**ONISMAR REIS LOPES**

**Universidade de Brasília**

**FACULDADE DO GAMA**  
**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Desenvolvimento de Biofluidos de Perfuração para Poços de  
Petróleos na Base Biodiesel e o Estudo de seus Parâmetros  
Reológicos**

Monografia submetida ao  
curso de graduação em  
Engenharia de Energia da  
Universidade de Brasília,  
como requisito parcial para a  
obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia de  
Energia.

Orientadora: Maria del  
Pilar Hidalgo Falla

**Brasília, DF**

**2018**

# FICHA CATALOGRÁFICA

Lopes, Onismar Reis

Desenvolvimento de Biofluidos de Perfuração para Poços de Petróleo na Base Biodiesel e o Estudo de seus Parâmetros Reológicos – Brasília - DF, 2018.

Xiii, 48p., 210 x 297 mm (ENERGIA/FGA/UnB, Engenheiro de Energia, Engenharia de Energia, UnB, 2018)

Monografia de Projeto de Graduação – Universidade de Brasília, Campus Gama. Faculdade do Gama (FGA). Engenharia de Energia. Professora Orientadora: Maria del Pilar Hidalgo Falla

Referências Bibliográficas: p. 65 – 66.

1. Petróleo

3. Emulsões

2. Fluidos de Perfuração

4. Meio Ambiente

I. ENERGIA/FGA/UnB

II. Título



## **DESENVOLVIMENTO DE BIOFLUIDOS DE PERFURAÇÃO PARA POÇOS DE PETRÓLEOS NA BASE BIODIESEL E O ESTUDO DE SEUS PARÂMETROS REOLÓGICOS**

**Onismar Reis Lopes**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama – FGA, da Universidade de Brasília, 05 de dezembro de 2018 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof.<sup>a</sup> Maria del Pilar Hidalgo Falla, UnB/FGA**

Orientadora

---

**Eng.<sup>a</sup> Waneide Gomes Lopes, BINATURAL**

Membro Convidado

---

**Prof. Felipe Chagas Storti, UnB / FGA**

Membro Convidado

Brasília, DF

2018

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família pelo imenso amparo dado em todos os anos de minha graduação. Agradeço aos meus pais, Valdilene Sousa Reis e Alcides Pereira Paulino, à minha irmã Alcilene Sousa Reis Paulino Moraes, aos meus tios Vilma Sousa Lopes e Oscimar Lopes Barbosa e aos primos Guilherme Sousa Lopes e Fellipe Sousa Lopes. Agradeço aos meus amigos de curso, Mayara Barbosa dos Santos, Michel Ramos e Tatielen Pereira, pelas inúmeras ajudas recebidas e pela troca de conhecimento nos momentos de estudo. Em especial, agradeço a minha professora e orientadora Maria del Pilar Hidalgo Falla e ao meu professor Felipe Chagas Storti, pelo profundo auxílio neste projeto e pelos ensinamentos que fortaleceram minha graduação como engenheiro até este momento do curso.

Onismar Reis Lopes

## RESUMO

Devido a grandes expectativas de produção de petróleo com a descoberta do pré-sal o Brasil se tornou um país com posição estratégica favorável frente à demanda mundial de energia. Atualmente, a maior disponibilidade energética brasileira é advinda do petróleo, fazendo com que este recurso energético seja o mais utilizado no país. Todavia, com o decorrer dos anos de exploração, questões ambientais passaram a tomar frente à exploração de petróleo no Brasil e no mundo, exigindo assim maiores cuidados a cercas destas explorações. Neste contexto, o projeto visa a produção de fluidos de perfurações menos agressivos ao meio ambiente, quando comparados aos que se utilizam nos dias atuais. A exemplo disso podemos citar o caso da lama de perfuração a base de diesel, muito tóxico e causa danos irreversíveis ao meio ambiente.

Entretanto, sabe-se que a utilização de fluidos de perfuração nesta base está limitada devido a necessidade da utilização de um fluido que produza o mínimo de impacto ambiental possível e que atinja os objetivos de sua função. É justamente este o enfoque deste trabalho: o desenvolvimento de biofluidos de perfuração a base biodiesel, que atendam aos requisitos mínimos exigidos pela legislação e que ao mesmo tempo cause menos impacto ambiental, em sua utilização.

Formulações de emulsões de fluidos foram feitas em diferentes razões óleo/água (50/50, 70/30 e 80/20) para dois tipos de biodiesel (mamona e soja), mantendo-se constante as concentrações dos aditivos e do agente emulsificante utilizado. Os parâmetros reológicos destes fluidos foram analisados e comparados com a norma da Petrobras, a fim de verificar a viabilidade da substituição do constituinte base biodiesel pelo diesel e qual tipo de biodiesel apresenta um melhor comportamento, segundo a norma. Os estudos reológicos e curvas de fluxo evidenciadas mostra que o fluidos formulados na base de biodiesel de mamona-água atingiram melhores resultados que os formulados na base de biodiesel de soja-água. Sendo que o fluido 1C (ROA 80/20), mostrou um comportamento bastante semelhante as curvas designadas aos fluidos X (100% água) e Y (ROA 50/50 – diesel/água) utilizados como referência.

Todo o estudo realizado neste projeto possibilitou uma consolidação de importantes conhecimentos na área de fluidos de perfuração, que abrirá um leque enorme para o sucesso de novas pesquisas na área de fluidos de perfuração.

**Palavras-chave:** petróleo, biodiesel, emulsão, fluidos de perfuração, meio ambiente.

## ABSTRACT

Due to high expectations of oil production with the discovery of pre-salt, Brazil has become a country with a favorable strategic position in the face of world energy demand. Currently, the greater availability of Brazilian energy comes from petroleum, making this energy resource the most used in the country. However, over the years of exploration, environmental issues began to take on the exploitation of oil in Brazil and in the world, thus requiring greater care to fencing these farms. In this context, the project aims to produce drilling fluids less aggressive to the environment, when compared to those used today. For example we can mention the case of diesel-based drilling mud, very toxic and causes irreversible damage to the environment.

However, it is known that the use of drilling fluids in this base is limited due to the need to use a fluid which produces the minimum possible environmental impact and which achieves the objectives of its function. The focus this work is the development of drilling biofluids based in biodiesel, which meet the minimum requirements required by legislation and at the same time cause less environmental impact in its use.

Formulations were made in different oil / water ratios (50/50, 70/30 and 80/20) for two types of biodiesel (castor oil and soybean), keeping the concentrations of the additives and the emulsifying agent used constant. The rheological parameters of these fluids were analyzed and compared with the Petrobras standard, in order to verify the viability of the substitution of the biodiesel base by the diesel, and which type of biodiesel presents a better behavior, according to the norm. The rheological studies and flow curves evidenced show that the formulated fluids in the castor-water biodiesel base achieved better results than those formulated in the soybean-water biodiesel base. Since the fluid 1C (ROA 80/20) showed very similar behavior to the curves designated for the fluids X (100% water) and Y (ROA 50/50 - diesel / water) used as reference.

The entire study carried out in this project has enabled a consolidation of important drilling fluids knowledge, which will open up a huge range for the success of new research in the area of fluids for drilling in petroleum.

**Key-words:** oil, biodiesel, emulsion, drilling fluids, environment.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Energia e Petróleo.....	15
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 Fluidos de Perfuração .....	18
2.1.1 Definição de Fluidos de Perfuração .....	18
2.1.2 Função dos Fluidos de Perfuração .....	19
2.1.3 Característica dos Fluidos de Perfuração .....	20
2.1.4 Propriedades dos Fluidos de Perfuração .....	20
2.1.5 Classificação dos Fluidos de Perfuração .....	21
2.1.5.1 Fluidos à Base de Água.....	21
2.1.5.2 Fluidos à Base de Óleo.....	21
2.1.5.3 Fluidos à Base de Ar.....	22
2.1.5.4 Fluidos Sintéticos.....	22
2.2 Aditivos para Fluidos de Perfuração.....	22
2.3 Formulação dos Fluidos de Perfuração .....	24
2.4 Fundamento sobre as emulsões .....	25
2.5 Reologia .....	25
2.6 Modelo Matemático para Fluidos de Perfuração .....	26
2.6.1 Fluidos Newtonianos.....	26
2.6.2 Fluidos Não Newtonianos .....	26
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>28</b>
3.1 Materiais.....	28
3.1.1 Equipamentos Utilizados .....	28
3.1.2 Materiais para o Ensaio Reológico dos Fluidos de Perfuração e Volume de Filtrado .....	28
3.1.3 Bases e Aditivos Utilizados nas Formulações .....	28
3.2 Formulação das emulsões dos fluidos de perfuração .....	30
3.3 Determinação Experimental das Propriedades Reológicas e Volume de Filtrado .....	34



3.4 Determinação dos Parâmetros Reológicos .....	36
3.4.1 Viscosidade Aparente (VA) .....	36
3.4.2 Viscosidade Plástica (VP) .....	36
3.4.3 Limite de Escoamento (LE) .....	36
3.4.4 Força Gel (FG) .....	37
3.4.5 Volume de Filtrado (VF) .....	37
3.5 Determinação das Curvas de Fluxo .....	37
3.6 Determinação do índice de consistência (K) e do índice de comportamento do fluido ( $n$ ) .....	38
3.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	39
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
4.1 Caracterização Físico-química das bases e aditivos utilizando técnica FTIR ..	40
4.2 Estudo de Estabilidade das emulsões dos fluidos formulados .....	52
4.2 Ensaio Reológico dos Fluidos de Perfuração .....	54
4.3 Curvas de Fluxo .....	59
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>63</b>
5.2 Propostas para Futuros Projetos .....	64
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluido de Perfuração à Base de Óleo. SYSTEM MUD. ....	19
Figura 2 - Curvas de fluxo de fluidos de potência. ....	27
Figura 3 - Misturador Mecânico Hamilton Beach N936, Fann. ....	30
Figura 4 - Aditivos fornecidos pela empresa System Mud.....	31
Figura 5 - Pesagem dos aditivos utilizados nas lamas de perfuração. ....	34
Figura 6 - Viscosímetro utilizado. (A) Diagrama esquemático e (B) viscosímetro Fann, modelo 35A. ....	35
Figura 7 - Filtro Prensa Fann, nº 300. ....	35
Figura 8 - Curva de fluxo para fluidos de perfuração. ....	38
Figura 9 - Equipamento de Infravermelho. ....	39
Figura 10 - Espectro de infravermelho da Barrilha Leve.....	40
Figura 11 - Possível estrutura molecular do aditivo – Barrilha Leve. ....	41
Figura 12 - Espectro de Infravermelho do SM THIN 1000.....	42
Figura 13 - Possível estrutura molecular do aditivo SM THIN 1000. ....	42
Figura 14 - Espectro de infravermelho do SM BAC GREEN. ....	43
Figura 15 - Possível estrutura molecular do aditivo SM BAC GREEN. ....	44
Figura 16 - Espectro de infravermelho do SM PAC HV. ....	44
Figura 17 - Estrutura molecular do aditivo – SM PAC HV. ....	45
Figura 18 - Espectro de infravermelho do LIOVAC 310P. ....	46
Figura 19 - Estrutura molecular do aditivo – LIOVAC 310P. ....	47
Figura 20 - Espectro de infravermelho da Parafina Líquida.....	47
Figura 21 - Espectro de infravermelho da Parafina Líquida.....	48
Figura 22 - Espectro de Infravermelho do Diesel. ....	48
Figura 23 - Estrutura molecular do Diesel. ....	49
Figura 24 - Espectro de infravermelho do Biodiesel da Mamona.....	49
Figura 25 - Estrutura molecular do Biodiesel da Mamona.....	50
Figura 26 - Espectro de infravermelho do Biodiesel de Soja.....	50
Figura 27 - Estrutura molecular do Biodiesel da Soja.....	51
Figura 28 - Espectro de infravermelho da Água. ....	51
Figura 29 - Estrutura molecular da água.....	52
Figura 30 - Fluido de perfuração X (100% água). ....	52
Figura 31 - Fluido de perfuração Y (ROA 50/50 – Diesel/Água).....	53
Figura 32 - Fluidos de perfuração 1A e 2A, respectivamente (ROA 50/50). ....	53
Figura 33 - Fluidos de perfuração 1B e 2B, respectivamente (ROA 70/30). ....	54
Figura 34 - Fluidos de perfuração 1C e 2C, respectivamente (ROA 80/20). ....	54
Figura 35 - Micrografias dos particulados presentes em cada tipo de fluidos de perfuração. ....	58

Figura 36 - Curvas de fluxo para os oito tipos de fluidos produzidos. ....	59
Figura 37 - Curvas de fluxo dos fluidos produzidos a partir do Biodiesel da mamona. (a) ROA 50/50, (b) ROA 70/30 e (c) ROA 80/20. ....	60
Figura 38 - Curvas de fluxo dos fluidos produzidos a partir do Biodiesel de soja. (a) ROA 50/50, (b) 70/30 e (c) 80/20. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aditivos utilizados em Fluidos de Perfuração e suas Funções.....	23
Tabela 2 - Aditivos utilizados, funções e características.....	28
Tabela 3 - Formulação dos Fluidos de Perfuração na Base Água e na base Diesel/Água..	31
Tabela 4 - Formulação de Fluidos de Perfuração na Base Biodiesel (LIOVAC 3217) em diferentes ROA – ÓLEO DA MAMONA. ....	32
Tabela 5 - Formulação de Fluidos de Perfuração na Base Biodiesel (LIOVAC 3218) em diferentes ROA – ÓLEO DE SOJA. ....	33
Tabela 6 - Caracterização da Barrilha Leve.....	41
Tabela 7 - Caracterização do SM THIN 1000. ....	42
Tabela 8 - Caracterização do aditivo SM BAC GREEN.....	43
Tabela 9 - Caracterização do SM PAC HV. ....	45
Tabela 10 - Caracterização do LIOVAC 310P. ....	46
Tabela 11 - Caracterização da Parafina Líquida.....	48
Tabela 12 - Caracterização do Diesel. ....	49
Tabela 13 - Caracterização do Biodiesel da Mamona. ....	50
Tabela 14 - Caracterização do Biodiesel da Soja. ....	51
Tabela 15 - Caracterização da Água.....	52
Tabela 16 - Medidas de deflexão realizada no viscosímetro Fann 35A, para os fluidos preparados. ....	55
Tabela 17 - Resultados dos Ensaios Reológicos.....	55
Tabela 18 - Parâmetros dos fluidos de perfuração.....	59

## LISTA DE SIMBOLOS

### Nomenclatura dos Tipos de Fluidos

ROA	Razão óleo/água
X	Fluido composto apenas por água
Y	Fluido ROA 50/50 de Diesel/Água
1A	Fluido ROA 50/50 com biodiesel da mamona
1B	Fluido ROA 70/30 com biodiesel da mamona
1C	Fluido ROA 80/20 com biodiesel da mamona
2A	Fluido ROA 50/50 com biodiesel de soja
2B	Fluido ROA 70/30 com biodiesel de soja
2C	Fluido ROA 80/20 com biodiesel de soja

### Símbolos Latinos

$b$	Coefficiente Linear da Reta de Mínimos Quadrados
$cP$	Centipoise
$FG$	Força Gel
$FG_i$	Força Gel Inicial
$FG_f$	Força Gel Final
$K$	Índice de Consistência
$LE$	Limite de Escoamento
$\Theta$	Leitura indicada no Viscosímetro
$\Theta_{600}$	Leitura do Viscosímetro a 600 rpm
$\Theta_{300}$	Leitura do Viscosímetro a 300 rpm
$\Theta_{200}$	Leitura do Viscosímetro a 200 rpm
$\Theta_{100}$	Leitura do Viscosímetro a 100 rpm
$\Theta_6$	Leitura do Viscosímetro a 6 rpm
$\Theta_3$	Leitura do Viscosímetro a 3 rpm

ml	Mililitro
$n$	Índice de Comportamento de Fluxo
nm	nanômetro
Pa	Pascal
pH	Concentração Hidrogeniônica
psi	Pound Force per Square Inch
rpm	Rotações por Minuto
$\Theta$	Deflexão lida no viscosímetro
VA	Viscosidade Aparente
VF	Volume de Filtrado
VP	Viscosidade Plástica
°C	Graus Centígrados

### **Símbolos Gregos**

$\tau$	Tensão de Cisalhamento [Pa]
$\gamma$	Taxa de Cisalhamento [s <sup>-1</sup> ]
$\mu$	Viscosidade Dinâmica [Pa.s]

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Energia e Petróleo

O Petróleo, considerado a principal fonte de energia do mundo moderno e ocupando sempre uma parcela muito significativa na matriz energética mundial, segundo dados anuais do Ministério de Minas e Energia (MME), merece destaque no que tange todas as suas atividades, desde a sua exploração, até a sua produção e distribuição, devido à enorme dependência que toda a sociedade mundial possui pelos seus derivados.

Portanto, devido a esta dependência, a exploração de petróleo vem se intensificando desde a sua descoberta até os dias de hoje, como é o caso de uma das descobertas mais importantes em todo o mundo na última década, o pré sal. Desde então, tecnologias vão sendo cada vez mais desenvolvidas nesse ramo, para que se obtenha cada vez mais aproveitamento nas explorações e produções de petróleo em todo o mundo.

Apesar do apelo mundial para a utilização de fontes energéticas alternativas, empresas de energia, especialmente após a descoberta do pré-sal, não trabalham com a hipótese de substituição das fontes não renováveis de energia, mas sim com a complementação da matriz energética brasileira por fontes renováveis, buscando aperfeiçoar o processo de eficiência energética.

Desde a descoberta do pré-sal, de acordo com dados divulgados pela Petrobras (2016), a produção diária de petróleo no pré sal passou da média de aproximadamente 41 mil barris por dia, em 2010, para o patamar de 1 milhão de barris por dia em 2016. Em virtude desta situação, o desenvolvimento de um fluido de perfuração que torne o processo de produção do petróleo mais prático, rápido e eficiente se mostrará bastante relevante em meio ao cenário atual.

A finalização de uma perfuração de um poço de petróleo bem sucedida estão relacionados, em boa parte, com as propriedades dos fluidos de perfuração utilizados durante todo o processo de exploração. Portanto, é justamente neste contexto, que a escolha do tipo de fluido e consequentemente da escolha de um constituinte base menos danoso ao meio ambiente, é que impactam em todos os aspectos de exploração do mesmo.

É neste cenário mundial em que este projeto se enquadra. A grande importância em se elaborar fluidos de perfuração menos poluente, devido às restrições ambientais cada vez mais severas e a necessidade de se explorar poços do pré-sal, torna o desenvolvimento deste projeto ainda mais importante, visto que os fluidos à base de água ou até mesmo os fluidos à base de óleo, quando substitui-se o constituinte principal (diesel), pelo biodiesel, garantem uma boa eficiência na perfuração e ainda atendem melhor as exigências ambientais vigentes.

## 1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo a formulação de biofluidos de perfuração utilizando biodiesel ao invés do diesel com o intuito de diminuir os impactos ambientais, e desta forma inserir fontes de energia renováveis nos processos de produção de fontes não renováveis como é o petróleo.

O estudo aborda o comportamento reológico de fluidos de perfuração na base biodiesel/água, em comparação com os fluidos formulados na base diesel/água, sendo que o maior desafio foi estudar a estabilidade da emulsão da mistura biodiesel-água.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

i. Caracterização dos aditivos e dos constituintes base: óleo diesel, biodiesel (soja e mamona) e água utilizados nas formulações aplicando a técnica de Infravermelho com Transformada de Fourier-FTIR.

ii. Estudo reológico dos fluidos produzidos para verificar suas eficiências, bem como a comparação do comportamento dos mesmos, a partir das curvas de fluxos dos parâmetros reológicos e volume de filtrado.

iii. Estudo da estabilidade de emulsão óleo/água utilizando concentrações mínimas de aditivo emulsificante.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

Este presente projeto foi organizado em capítulos para uma melhor compreensão dos conteúdos abordados e maior facilidade de visualização dos mesmos. O texto começa do capítulo 1, onde é abordado todo um panorama mundial sobre o petróleo, apresentando assim a motivação para a realização deste trabalho. Ainda neste mesmo capítulo é apresentado os objetivos e objetivos específicos do projeto.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos conteúdos abordados no projeto. Apresenta os conceitos, as funções, as características e as classificações dos fluidos de perfuração; apresenta os aditivos utilizados para cada tipo de fluido, suas funções e qual tipo de fluido é mais adequado para determinadas categorias de poços; apresenta o conceito de reologia e seus parâmetros, introduz o conceito dos tipos emulsões existentes e ainda mostra o conceito matemático para fluidos de perfuração, a fim de determinar a taxa e a tensão de cisalhamento a partir dos parâmetros reológicos.

O capítulo 3 aborda dos os materiais e equipamentos necessários para se realizar as formulações dos fluidos; neste mesmo capítulo fala sobre a determinação das propriedades reológicas e o processo de formulação dos oito tipos de fluidos produzidos e a determinação das curvas de fluxo de cada um deles.



O capítulo 4 aborda os resultados das propriedades reológicas de cada tipo de fluido produzido; apresenta as características dos aditivos utilizados e fala da técnica de espectroscopia infravermelho FTIR, utilizada para caracterizar os aditivos a partir de seus respectivos espectros.

E o capítulo 5 apresenta toda uma discussão sobre o que se pôde concluir com o desenvolvimento dos fluidos, incluindo comentários e os aspectos mais relevantes, durante o processo de execução do projeto e ainda cita algumas propostas para a continuidade deste estudo.

Por último, estão apresentadas todas as referências utilizadas para o desenvolvimento do projeto e os anexos que auxiliarão em uma melhor compreensão do mesmo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fluidos de Perfuração

#### 2.1.1 Definição de Fluidos de Perfuração

Fluidos de perfuração podem ser definidos por diferentes maneiras, diferindo-se de autores. Segundo o Instituto Americano de Petróleo (API), considera fluidos de perfuração qualquer fluido circulante, capaz de tornar a operação de produção viável. Tais fluidos, também conhecidos como lamas, são utilizados na indústria de petróleo para perfuração de poços, sejam eles terrestres ou marítimos. Por outro lado, autores como Thomas *at al.* (2001) consideram fluidos de perfuração como misturas complexas de sólidos, líquidos, produtos químicos e, por vezes, até gases. Do ponto de vista químico, eles podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes. Do ponto de vista físico, os fluidos de perfuração assumem comportamentos de fluidos não-newtonianos, ou seja, a relação entre a taxa de cisalhamento e a taxa de deformação não é constante (Machado, 2002).

O termo fluido de perfuração realmente refere-se a uma substância utilizada no processo de perfuração de poços de petróleo com o intuito de fazer com que a atividade seja bem sucedida, minimizando danos e, com um baixo custo. Desta forma, uma escolha correta do fluido de perfuração, de acordo com o tipo de poço é essencial para que notáveis benefícios sejam alcançados ao processo de perfuração, tais como: redução no índice de corrosão dos equipamentos, diminuição das perdas de pressão por atrito, a estabilização adequada das paredes do poço e uma das principais questões que, atualmente vem estando muito em pauta, é a questão dos impactos ambientais que os constituintes da lama causam ao entrar em contato com o meio ambiente.

Questões ambientais vem se intensificando cada vez mais com o passar dos anos, com relação a conservação do meio ambiente e de seus ecossistemas. Em decorrência disto, a indústria petrolífera tem investido maciçamente no desenvolvimento de tecnologias de ponta para que haja possibilidade no convívio harmonioso entre as atividades produtivas e o meio explorado (Petrobras. CENPES. SINTEP.). A figura a seguir mostra um exemplo de fluidos de perfuração:



**Figura 1 - Fluido de Perfuração à Base de Óleo. SYSTEM MUD. Fonte:**  
(<http://www.amcmud.com.br/>)

### 2.1.2 Função dos Fluidos de Perfuração

Dentro da atividade produtora de perfuração de poços de petróleo, todos os tipos de fluidos de perfuração devem ser especificados para garantir uma perfuração rápida e segura. Comumente, os fluidos de perfuração realizam o papel de limpar o fundo do poço dos cascalhos gerados pela broca e transportá-los até a superfície, exercer pressão hidrostática sobre as formações, estabilizar as paredes do poço, resfriar e lubrificar a coluna de perfuração e a broca.

Os fluidos de perfuração podem realizar diversas tarefas durante o processo de extração de petróleo. Segundo o *Drilling Fluids Engineering Manual* (1998), as principais funções dos fluidos de perfuração são:

- Remover os cascalhos produzidos durante a perfuração e trazê-los até a superfície;
- Resfriar e lubrificar tanto a broca quanto a coluna de perfuração;
- Controlar (estabilizar) as pressões da formação, impedindo o influxo de gás, água ou óleo;
- Controlar possíveis corrosões;
- Minimização dos impactos ambientais.

Dentro do contexto de preocupações ambientais, formulações de fluidos de perfuração estão sendo estudadas para que se tenha um menor grau de impacto ao entrar em contato com o ambiente. Atualmente, o fluido mais utilizado em atividades produtoras são os fluidos a base de óleo diesel, na qual possui alta toxicidade, devido à sua aromaticidade, problema muito agravante aos ecossistemas aquáticos, principalmente. A indústria do petróleo, nos últimos anos, vem desenvolvendo a aplicação de fluidos de perfuração, cuja a fase contínua se constitua de óleos de baixa toxicidade, diminuindo consideravelmente os efeitos nocivos ao meio ambiente. Portanto, o que se mais deseja é fazer a formulação de um fluido, a base de óleo, seja ele

mineral, biodiesel e outros, cujo as suas funções e características se assemelhem com os fluidos à base de óleo diesel.

### **2.1.3 Característica dos Fluidos de Perfuração**

Segundo Thomas (2001), no que tange fluidos de perfuração, é desejável que o fluido apresente as seguintes características para que a atividade de exploração de petróleo ocorra de forma segura:

- ✓ Ser estável quimicamente;
- ✓ Estabilizar as paredes do poço, mecânica e quimicamente;
- ✓ Facilitar a separação dos cascalhos na superfície;
- ✓ Ser inerte em relação às rochas produtoras;
- ✓ Aceitar qualquer tratamento, seja ele físico ou químico;
- ✓ Manter os sólidos em suspensão quando estiver em repouso;
- ✓ Ser bombeável;
- ✓ Apresentar baixo grau de corrosão e abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos do sistema de circulação;
- ✓ Apresentar custo compatível com a operação.

### **2.1.4 Propriedades dos Fluidos de Perfuração**

As propriedades de controle de fluidos de perfuração podem ser físicas e químicas. As propriedades físicas são parâmetros mais genéricos e são medidos em qualquer tipo de fluido, como a densidade, os parâmetros reológicos, as forças géis (inicial e final), os parâmetros de filtração e o teor de sólidos e outros. As propriedades químicas que são determinadas com mais frequências nos laboratórios das sondas, são eles: o pH, os teores de cloreto e de bentonita e a alcalinidade (Thomas, *et al.*, 2001).

Tratando-se dos parâmetros físicos, alterações podem ser feitas para que as propriedades (densidade, viscosidade plástica e aparente, força gel e volume de filtrado) sejam ajustadas de acordo com a necessidade da região de exploração. Estes parâmetros podem ser ajustados com a adição de aditivos ao fluido. Por exemplo, para se aumentar a densidade de um fluido, adiciona-se a ele baritina (mineral de sulfato de bário de elevada densidade), caso deseje obter o efeito contrário, ou seja, obter uma diminuição da densidade, adiciona-se fluidos: água, diesel e biodiesel.

Com relação aos parâmetros químicos, como é o caso do pH, que deve ser mantido em uma faixa entre 7 a 10, objetivando uma pequena taxa de corrosão dos equipamentos e a não dispersão das formações argilosas; as alcalinidades, onde o pH determina apenas uma

concentração de  $H^+$ , considera ainda as espécies de carbonatos e bicarbonatos dissolvidos no fluido, além dos íons hidroxilas, dissolvidos e não dissolvidos; o teor de salinidade, que são usados para identificar o teor de sais na água de preparo do fluido, para controlar a salinidade de fluidos inibidos com sal, para identificar influxos de água salgada, identificando assim a perfuração de uma rocha ou de um domo salino; o teor de bentonita ou de sólidos ativos, muito utilizados para determinar a quantidade de sólidos ativos ou bentoníticos no fluido de perfuração.

### **2.1.5 Classificação dos Fluidos de Perfuração**

Para Thomas (2011), o fluido de perfuração é classificado conforme a sua composição, utilizando como critério o principal constituinte da fase contínua do fluido, ou seja, o componente de maior relevância que forma a fase dispersante do fluido de perfuração. Seguindo este critério, os fluidos de perfuração são classificados em fluido à base de água, fluidos à base de óleo e fluidos à base de ar.

Além da água, do óleo e do ar, também existe um fluido de perfuração à base sintética. O fluido de perfuração sintético é preparado a partir de substâncias químicas sintéticas com o intuito de aperfeiçoar suas propriedades reológicas. A seguir, de forma detalhada, são apresentadas as categorias em que os fluidos são classificados.

#### **2.1.5.1 Fluidos à Base de Água**

A definição de um fluido à base de água, onde o seu principal constituinte é a água, tem como função ser o meio dispersante dos aditivos químicos presentes no fluido. A proporção entre os componentes básicos e as interações entre eles provoca sensíveis modificações nas propriedades físicas e químicas do fluido. Consequentemente, a composição é o principal fator a ser considerado no controle de suas propriedades (Thomas, 2001). Portanto, para a formulação correta de um tipo de fluido de perfuração, é levado em conta a natureza da água, ou seja, se ela é doce ou dura (salgada) e os aditivos a serem empregados com suas devidas proporções, de acordo com as condições da formação geológica da área a ser explorada.

#### **2.1.5.2 Fluidos à Base de Óleo**

Os fluidos de perfuração são à base de óleo quando a sua fase contínua é composta por uma fase óleo, onde geralmente é composta por hidrocarbonetos líquidos. A fase descontínua é formada por gotículas de água ou de solução aquosa. Segundo Thomas (2011), se o teor de água no fluido for menor do que 10% trata-se de uma emulsão de água e óleo. Quando o teor de água está compreendido entre 10 e 45%, o fluido é denominado de emulsão inversa.

### **2.1.5.3 Fluidos à Base de Ar**

Fluidos de perfuração à base de ar é quando o fluido circulante utilizado se consiste totalmente ou em sua maior parte por ar ou gás. Segundo Thomas (2001), recomendam-se diferentes formulações para fluidos à base de ar para cada situação em que se encontra um poço de petróleo.

### **2.1.5.4 Fluidos Sintéticos**

Os fluidos sintéticos foram desenvolvidos em resposta às limitações interpostas aos fluidos à base de água e também em respostas às restrições ambientais vigentes, empregados aos fluidos a base de óleo. A base destes tipos de fluidos são substâncias químicas sintéticas que conferem uma menor toxicidade quando comparado com o óleo diesel. Esse tipo de fluido é mais utilizado em áreas marítimas, onde o descarte do cascalho é proibido quando se perfura com fluidos à base de óleo. O elevado custo é a principal desvantagem desse tipo de fluido. Por meio da Figura 3 pode ser observado o esquema da classificação dos fluidos de perfuração.

## **2.2 Aditivos para Fluidos de Perfuração**

Segundo Amorim (2003), existe uma perfuração específica para cada tipo de poço, deste modo, as condições geológicas de cada poço determinarão a composição do fluido. Por exemplo, fluidos à base de água contendo somente argila em baixa concentração como aditivo, são apropriados para perfurações simples e não muito profundas. Porém, para perfurações complexas e profundas torna-se necessário a utilização de fluidos mais completos, com aplicação de vários aditivos que desempenhem as funções para auxiliar o processo de perfuração.

Os aditivos desempenham as mais diversas funções nos fluidos de perfuração. Dentre elas, pode-se destacar que as principais são o controle da viscosidade, do limite de escoamento, das forças geís e volume de filtrado. Se adicionados nas porções adequadas, os aditivos darão ao fluido elevada aptidão para o sucesso da perfuração (Thomas, 2001).

Durante a preparação dos fluidos de perfuração, são usados aditivos com o intuito de conferir as propriedades necessárias para uma perfuração eficiente para cada tipo de poço. Todos estes aditivos estão descritos na tabela a seguir juntamente com suas respectivas funções e alguns exemplos dos mesmos.

**Tabela 1 – Aditivos utilizados em Fluidos de Perfuração e suas Funções.**

<b>ADITIVO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
<b>Viscosificantes</b>	Usados com o objetivo de elevar a viscosidade do fluido, garantindo o carregamento dos detritos gerados pela perfuração, além de conferir uma melhor limpeza do poço.
<b>Lubrificantes</b>	Os lubrificantes, compostos formados por ésteres ou por polipropilenoglicol, são os aditivos responsáveis pela redução do atrito da lama ao fluir entre as paredes do poço e coluna de perfuração.
<b>Redutores de Filtrado</b>	Ao se perfurar um poço de petróleo, ocorrem perdas de fluido, sobretudo em formações fraturadas. Para evitar tais perdas, utilizam-se redutores de filtrado, os quais promovem a melhoria do reboco nas paredes dos poços. O amido é o componente mais utilizado como redutor de filtrado.
<b>Controladores de pH</b>	Estes aditivos realizam o controle do teor de dureza nos fluidos de perfuração como principal atividade. Outras funções dos controladores de pH são a redução dos índices de corrosão e a estabilização das emulsões. São representados pelos hidróxidos de sódio ou de potássio, ácido acético e carbonato de sódio.
<b>Bactericidas</b>	Os agentes responsáveis pelo controle da deterioração dos fluidos de perfuração causado pela presença de micro-organismos são chamados de bactericidas. Os principais bactericidas são os compostos organoclorados, a soda cáustica e a cal
<b>Fixadores de reboco</b>	Fixadores agem sobre as paredes do poço recobrimo-o com uma camada flexível e plastificada. É recomendado o uso destes aditivos para a perfuração de rochas inconsolidadas e quebradiças.
<b>Inibidor de Argila Expansiva</b>	Os inibidores são sais inorgânicos sem a presença de cloretos, cuja função é coibir a expansão das argilas oriundas das formações perfuradas quando hidratadas. Tais aditivos aumentam a velocidade de penetração em formações com argilas plásticas.
<b>Afinante de Bentonita</b>	Os afinantes, representados por polímeros de baixo peso molecular, apresentam ótima dispersão das argilas no fluido de perfuração por meio de ação química. Estes aditivos também protegem a broca contra aprisionamentos e entupimentos.

<b>Selantes</b>	O selante é um aditivo, geralmente polimérico, utilizado para preencher e fechar fendas em um poço, prevenindo o desmoronamento do mesmo. É bastante utilizado em formações geológicas bastante permeáveis e em aquíferos fraturados, onde existem perdas de circulação do fluido de perfuração.
<b>Dispersantes</b>	Como o próprio nome sugere, os dispersantes são responsáveis por executar a dispersão dos sólidos contidos no fluido de perfuração, reduzindo a atração das partículas de bentonitas. Os lignosulfonatos, os lignitos e os fosfatos são os representantes dos agentes dispersantes.
<b>Floculantes</b>	Os agentes floculantes, representados pela soda cáustica, pela cal e pelo cloreto de sódio, são encarregados de elevar a viscosidade do fluido, promovendo a limpeza do poço.
<b>Defloculante</b>	Os aditivos defloculantes são aplicados com a finalidade de impedir que os sólidos ativos presentes no fluido de perfuração fiquem em suspensão.
<b>Densificantes</b>	São os agentes cuja função é elevar a densidade do fluido de perfuração. A barita é o densificante mais empregado na formulação de lamas.
<b>Espumantes</b>	Os agentes espumantes têm a função de criar uma espuma estável em fluidos de perfuração à base de água. Os surfactantes são exemplos de espumantes.
<b>Antiespumantes</b>	Estes produtos promovem a redução da ação espumante nos fluidos de perfuração, especialmente naqueles à base de água saturada com sal.

### 2.3 Formulação dos Fluidos de Perfuração

A formulação de tais fluidos se consiste na mistura de um constituinte base, que pode ser água, óleo ou o gás, com aditivos, a depender da característica do fluido que se deseja. Como a proposta desde projeto é o desenvolvimento de biofluidos de perfuração, com um enfoque principal na substituição do diesel, utilizado como constituinte principal na base óleo, pelo biodiesel, lembrando sempre da questão ambiental, relacionado à toxidade do diesel. Com os resultados obtidos, os comportamentos reológicos destes fluidos foram verificados, estudando assim a eficiência dos fluidos formulados.



Os aditivos utilizados para estes estudos iniciais, foram fornecidos, em sua maioria, pela SYSTEM MUD e pela empresa BENTOSISA, empresas pioneiras na fabricação de produtos para perfuração e manutenção de poços em geral, no Brasil.

## **2.4 Fundamento sobre as emulsões**

Emulsão, por definição, é um sistema disperso, constituído de dois tipos de líquidos imiscíveis ou parcialmente miscíveis. Em quase todos os sistemas de emulsão uma das fases é a água e a outra é constituída de um líquido oleoso. Há basicamente dois tipos de emulsões, quando tratamos de emulsão entre água e óleo: uma em que o meio aquoso é a fase dispersa, onde a emulsão é dita emulsão água em óleo (a/o), cujo o teor de água é menor de 10% da amostra; e a outra, se o óleo é a fase dispersa é então chamada de emulsão óleo em água (o/a). Neste projeto, quando tratamos de emulsões, estamos nos referindo a emulsão de água em óleo (biodiesel), como veremos mais adiante. Também temos as chamadas emulsões inversas, que são as obtidas neste projeto, que possuem um teor de água entre 10 e 45% (Thomas, 2001).

Para se obter uma emulsão é necessária, além dos líquidos imiscíveis, de um agente tensoativo, também chamado de emulsificante. Este agente diminui a tensão interfacial entre os líquidos, facilitando uma emulsificação estável.

Uma emulsão inversa estável, eficiente, resistentes à temperaturas e contaminações é obtida a partir de uma dosagem boa de um agente emulsificante e de aditivos que favoreçam o que se deseja obter, como por exemplo: agentes molhantes, viscosificantes, redutor de filtrado, bactericidas e outros.

## **2.5 Reologia**

A Reologia é a ciência que estuda como a matéria se deforma ou escoar, quando a mesma está submetida a esforços que são originados por forças externas. O estudo da reologia nada mais é do que a análise da deformação e do fluxo da matéria quando esta é submetida à aplicação de uma tensão.

Este estudo para fluidos de perfuração é de suma importância em todo o processo de perfuração de um poço, pois ele permite obter o controle da qualidade do fluido, garantindo a sua eficiência.

Os líquidos puramente viscosos têm o seu comportamento reológico definido através da relação da tensão cisalhante e da taxa de cisalhamento; e é através de seus comportamentos que eles podem ser classificados como fluidos newtonianos e fluidos não newtonianos.

Amorim (2003) afirma que os fluidos de perfuração à base de água ou à base de óleo possuem comportamento pseudoplástico, sendo que o incremento da taxa de deformação aplicada faz com que o valor da viscosidade do fluido diminua. Desta forma, os fluidos de

perfuração são classificados como não newtonianos. O comportamento pseudoplástico pode ser explicado por dois fatores, o primeiro é devido ao fato de que quando o material se encontra em repouso, as partículas do mesmo se apresentam bem próximas umas das outras e o segundo é pelo fato de elas estarem orientadas aleatoriamente. Desta forma, quando essas partículas sofrem uma tensão em determinada direção, elas conseqüentemente assumem uma orientação na direção do escoamento, fazendo assim com que a resistência das partículas diminua, conforme o fluí escoar.

## 2.6 Modelo Matemático para Fluidos de Perfuração

### 2.6.1 Fluidos Newtonianos

Os modelos matemáticos são ferramentas que possibilitam a análise do escoamento de fluidos. O modelo matemático que pode descrever o comportamento de fluidos Newtonianos é o que está descrito na Equação (1).

$$\tau = \mu\gamma \quad (1)$$

Onde:  $\tau$  é tensão de cisalhamento em Pascal, necessária para manter o escoamento do fluido;  $\mu$  é viscosidade dinâmica absoluta, dada em (Pa.s); e  $\gamma$  é a taxa de cisalhamento, dada em ( $s^{-1}$ ), definida como o deslocamento relativo das partículas do fluido.

### 2.6.2 Fluidos Não Newtonianos

Segundo Rocha (2008), o modelo matemático que descreve o comportamento de fluidos não newtonianos é representado pela Equação (2).

$$\mu_a = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2)$$

Onde:  $\mu_a$  é a viscosidade aparente, ou seja, a viscosidade que o fluido teria se fosse newtoniano, em determinada condição de fluxo, sob certa taxa de cisalhamento constante.

O modelo mais utilizado na análise reológica em fluidos de perfuração é o modelo da Lei de Potência, formulado por Ostwald de Waale, que é descrito pela Equação (3): A taxa de cisalhamento, neste caso, pode ser interpretada como o gradiente de velocidade do fluido. O índice de consistência indica o grau de resistência do fluido durante o escoamento e o índice de comportamento indica o grau de proximidade do fluido com o modelo newtoniano.

$$\tau = K(\gamma^n) \quad (3)$$

Onde:  $\tau$  é tensão de cisalhamento em Pascal;  $K$  é o índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);  $\gamma$  é a taxa de cisalhamento ( $s^{-1}$ );  $n$  é o índice de comportamento do fluxo (adimensional).

A taxa de cisalhamento, neste caso, pode ser interpretada como o gradiente de velocidade do fluido, índice de consistência indica o grau de resistência do fluido durante o escoamento e o índice de comportamento indica o grau de proximidade do fluido com o modelo newtoniano. Quando o índice de comportamento do fluido é igual a uma unidade, diz-se que ele é um fluido newtoniano, quando este índice se afasta desse valor, indica a proximidade de um fluido não newtoniano.

A Figura 2 mostra as curvas de fluxo de fluidos de potência de acordo com o índice de comportamento do fluido. Onde os fluidos, cujos índices de comportamento assumem valores entre zero e um, são classificados como pseudoplásticos e têm comportamento mostrado na curva (A). Já fluidos que apresentam índice de comportamento com valores superiores à unidade são considerados fluidos dilatantes. E caso o índice possua um valor igual a um, ele é considerado um fluido Newtoniano (Rocha, 2008).

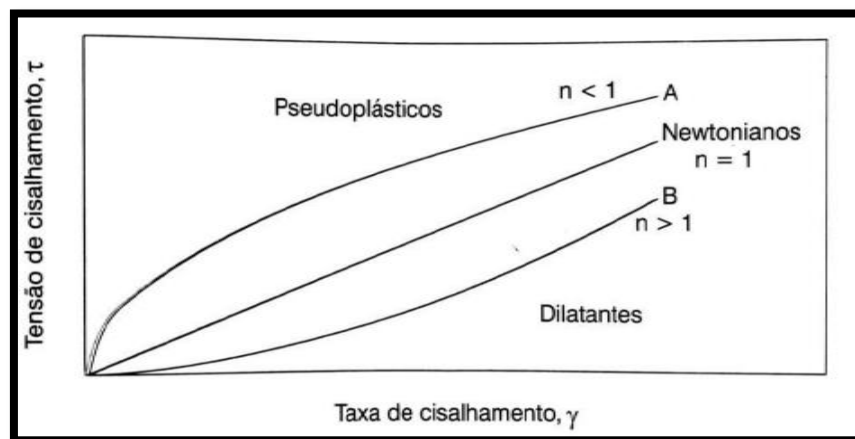


Figura 2 - Curvas de fluxo de fluidos de potência. Fonte: Rocha (2008).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

O presente tópico mostra os materiais que foram utilizados para a execução do projeto. A relação de materiais inclui os aparelhos, os fluidos, aditivos e o emulsificante utilizado, necessários para a realização dos processos de emulsões para a sintetização dos fluidos de perfuração e de seus ensaios reológicos e volume de filtrado.

##### 3.1.1 Equipamentos Utilizados

- Misturador mecânico do modelo Hamilton Beach N936, da marca Fann;
- Equipamento FTIR Thermo Nicolet Is-10;
- Forno mufla da marca Marconi, modelo MA 385;
- Microscópio Eletrônico de Varredura, da marca JEOL, modelo JSM-700F;
- Balança de precisão;

##### 3.1.2 Materiais para o Ensaio Reológico dos Fluidos de Perfuração e Volume de Filtrado

- Viscosímetro da marca Fann, modelo 35 A;
- Filtro prensa (ar comprimido), da marca Fann;
- Papel de filtro Fann Whatman n° 50;
- Proveta de vidro de 50 ml;
- Compressor de ar, da marca Motomil (modelo: CMI 7,6/24L-2HP 120 lbf/pol<sup>2</sup>).

##### 3.1.3 Bases e Aditivos Utilizados nas Formulações

As bases e aditivos utilizados para a preparação dos fluidos de perfuração estão ilustrados na Tabela 2, juntamente com suas respectivas funções e principais características. O modelo utilizado para a caracterização dos aditivos foi por meio da técnica FTIR - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier.

**Tabela 2 - Aditivos utilizados, funções e características.**

ADITIVO	FUNÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Água	Constituinte Base	- Água destilada, isenta de contaminantes.
Diesel	Constituinte Base	- Diesel comercial B-7
Biodiesel de Mamona	Constituinte Base	- Certificada pela empresa

		Miracema Nuodex
Biodiesel de Soja	Constituinte Base	- Certificada pela empresa Miracema Nuodex
Barrilha Leve	Controlador de pH	- Produto de alto desempenho; - Isento de íons de cloreto; - Fácil aplicação; - Durabilidade indeterminada; - Isento de contaminantes; - Facilmente removível do meio.
SM THIN 1000	Afinante de Bentonita	- Excelente dispersão em argilas por meio da ação química; - Evita aprisionamento de brocas; - Previne entupimento de hastes e brocas; - Se mistura facilmente; - Não altera o pH.
SM BAC GREEN	Bactericida	- Produto não tóxico; - Não deixa resíduos após sua aplicação; - Ação bactericida e fungicida comprovada.
SM PAC HV	Biopolímero que substitui a bentonita.	- Proporciona alta viscosidade ao fluido com dosagem muito baixa; - Alta estabilidade química; - Reduz as perdas por filtrações em formações permeáveis (controlador de filtrado e reboco). - Atua aumentando a estabilidade e proporciona melhor limpeza dos recortes, durante a perfuração.
LIOVAC 310P	Emulsificante	- Forma emulsão estável e homogênea, de cor branca e com excelentes propriedades anticorrosivas e antiespumante.
PARAFINA LIQUIDA	Viscosificante	- Doação de viscosidade ao fluido; - Previne a formação de bolhas.

### 3.2 Formulação das emulsões dos fluidos de perfuração

As preparações dos fluidos de perfuração produzidos neste presente projeto foram baseadas de uma metodologia, considerada uma das mais adequadas, a partir de um levantamento bibliográfico, das principais formulações utilizadas para caracterização de fluidos à base óleo, por diversos autores internacionais (DA COSTA, 2015). Também, foram utilizados como base para a preparação das lamas, os boletins técnicos de cada aditivo, fornecidos juntamente com os mesmos, com relação as suas respectivas proporções a serem utilizadas. Estes boletins técnicos se encontram nos anexos deste presente trabalho.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Nanotecnologia da Universidade de Brasília, do campus Gama. As emulsões de fluidos de perfuração foram preparadas por meio do misturador mecânico, modelo Hamilton Beach N936, da marca Fann, conforme descrito pela norma N-2605 da Petrobras (1988). Ver Figura 3.



**Figura 3 - Misturador Mecânico Hamilton Beach N936, Fann.** *Fonte: Autoria própria.*

Os aditivos Barrilha Leve, SM PAC HV (Bentonita), SM THIN 1000 e SM BAC GREEN utilizados neste projeto foram fornecidos pela empresa System Mud – Fluidos de Perfuração, localizada na cidade de Itajaí, em Santa Catarina.



**Figura 4 - Aditivos fornecidos pela empresa System Mud.** *Fonte: Autoria própria.*

Foram feitas oito formulações de fluidos de perfuração, sendo uma formulação feita exclusivamente a base de água (fluido X) e outra, feita exclusivamente a base de diesel/água (fluido Y), ambas a títulos de comparação. Na Tabela 3 mostra os constituintes utilizados para a formulação dos fluidos a título de comparação para este projeto.

As demais formulações foram feitas a partir de emulsões entre diferentes proporções de ROA biodiesel/água destilada (50/50, 70/30 e 80/20), seja ele proveniente do óleo de soja (LIOVAC 3218) ou da mamona (LIOVAC 3217), doados pela empresa MIRACEMA NUODEX.

**Tabela 3 - Formulação dos Fluidos de Perfuração na Base Água e na base Diesel/Água.**

<b>FLUIDO X (100% Água)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>200</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida (gts)</i>	<i>5</i>
<b>FLUIDO Y (ROA 50/50 – Diesel/Água)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Diesel S-500 (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,5</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida</i>	<i>5</i>

As Tabelas 4 e 5 que seguem, mostram as mesmas concentrações de aditivos utilizados, mudando apenas o constituinte base do fluido (emulsão óleo/água) em diferentes razões. Onde, os fluidos com índice “1”, referem-se aos produzidos com biodiesel proveniente da mamona e os fluidos com o índice “2”, aos advindos do biodiesel do óleo soja. Suas diferentes razões óleo/água são caracterizadas com a letra “A” (ROA 50/50), “B” (ROA 70/30) e “C” (ROA 80/20), respectivamente. A Tabela 4 mostra as respectivas formulações das emulsões feitas com o biodiesel do óleo da mamona e seus constituintes:

**Tabela 4 - Formulação de Fluidos de Perfuração na Base Biodiesel (LIOVAC 3217) em diferentes ROA – ÓLEO DA MAMONA.**

<b>FLUIDO 1A (ROA 50/50)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel Mamona (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida</i>	<i>5</i>
<b>FLUIDO 1B (ROA 70/30)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel Mamona (ml)</i>	<i>140</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>60</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida</i>	<i>5</i>
<b>FLUIDO 1C (ROA 80/20)</b>	
<b>COMPONENTE</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel Mamona (ml)</i>	<i>160</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>40</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida</i>	<i>5</i>

A Tabela 5 mostra as respectivas formulações das emulsões feitas com o biodiesel proveniente do óleo de soja e seus constituintes, como segue:



**Tabela 5 - Formulação de Fluidos de Perfuração na Base Biodiesel (LIOVAC 3218) em diferentes ROA – ÓLEO DE SOJA.**

<b>FLUIDO 2A (ROA 50/50)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel da soja (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>100</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida (gts)</i>	<i>5</i>
<b>FLUIDO 2B (ROA 70/30)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel da soja (ml)</i>	<i>140</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>60</i>
<i>Barrilha Leve (g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida (gts)</i>	<i>5</i>
<b>FLUIDO 2C (ROA 80/20)</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentração</b>
<i>Biodiesel da soja (ml)</i>	<i>160</i>
<i>Água Destilada (ml)</i>	<i>40</i>
<i>Barrilha Leve(g)</i>	<i>0,4</i>
<i>Emulsificante (ml)</i>	<i>1</i>
<i>SM PAC HV (g)</i>	<i>0,25</i>
<i>Bactericida (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Afinante Bentonita (gts)</i>	<i>5</i>
<i>Parafina Líquida (gts)</i>	<i>5</i>

As emulsões foram preparadas na ordem em que os constituintes base, o agente emulsificante e os aditivos estão dispostos nas Tabelas 3, 4 e 5. Primeiramente foram pesados, em uma balança de precisão disponível no laboratório, os aditivos utilizados nas formulações, como pode ser visto na Figura 5, a seguir:



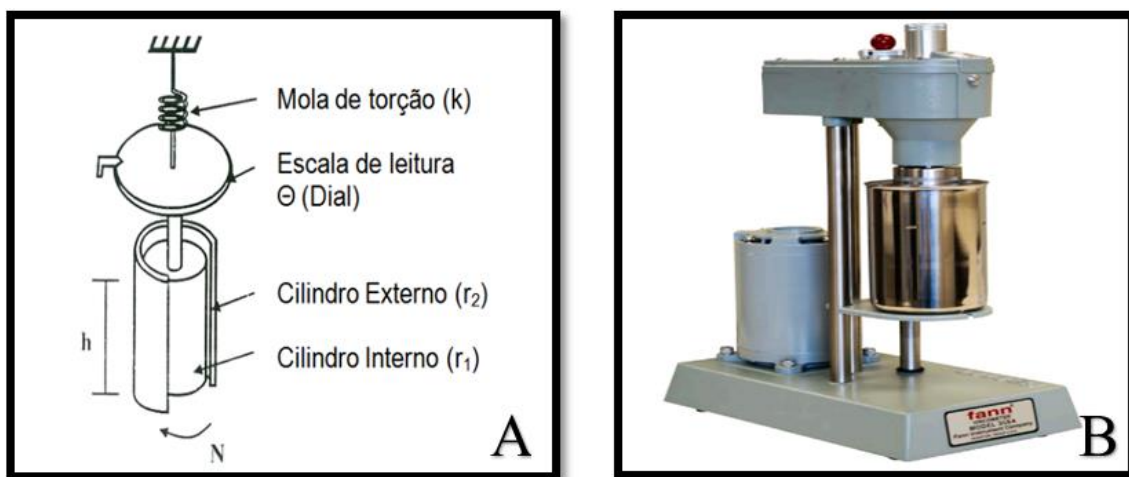
**Figura 5 - Pesagem dos aditivos utilizados nas lamas de perfuração.** *Fonte: Autoria própria.*

Em seguida, foi inserido o biodiesel no copo do misturador Hamilton Beach N936 e em seguida, o misturador foi ligado a uma rotação de 13000 rpm. Logo, foi adicionada a água destilada e os aditivos foram sendo adicionados, um a um. Depois que todos os aditivos foram adicionados, a velocidade do misturador foi aumentada para uma rotação de 17000 rpm e permaneceu assim durante 10 minutos. Logo após, o fluido foi colocado em um béquer, tampado com papel filme e deixado em repouso durante um período de 24 horas, para assim serem medidos os parâmetros reológicos. Todos esses processos foram feitos de maneira análoga para a preparação de todas as emulsões de fluidos.

### **3.3 Determinação Experimental das Propriedades Reológicas e Volume de Filtrado**

As determinações das propriedades reológicas realizadas nesse trabalho foram feitas conforme os procedimentos e equacionamentos descritos na Norma N-2605 da Petrobrás (1998). A aferição para os cálculos da viscosidade aparente, viscosidade plástica, limite de escoamento e força géis, foram obtidos através do viscosímetro da marca Fann 35A, conforme sugere a norma da Petrobras.

O modelo do viscosímetro utilizado para medir as propriedades reológicas dos fluidos de perfuração desenvolvidos no trabalho, seguem o seguinte princípio de funcionamento: a velocidade de rotação é selecionada pelo operador, onde um cilindro externo, que é o rotor da máquina, gira concentricamente com um cilindro interno, conhecido como *bob*, que permanece fixo. Quando o viscosímetro está ligado, com o fluido de perfuração entre os dois cilindros, o cisalhamento do fluido é transferido ao cilindro interno, na qual o fluido sofre uma força de arraste. No leitor do viscosímetro, tem um ponteiro que está ligado à mola de torção acoplada ao cilindro interno. Esse ponteiro indica a deformação da mola, medida em graus, que consequentemente mostra a leitura no viscosímetro. O modelo do diagrama esquemático e do viscosímetro está ilustrado na Figura 6, respectivamente.



**Figura 6 - Viscosímetro utilizado. (A) Diagrama esquemático e (B) viscosímetro Fann, modelo 35<sup>a</sup>.** Fonte: (Adaptado de Almeida, 2010).

Além das propriedades reológicas, existe um quesito denominado volume de filtrado, que possui grande relevância para as lamas pois está relacionado com perda de fluido durante o processo de perfuração. A determinação do volume de filtrado permite a análise da qualidade coloidal da argila no fluido de perfuração. De acordo com Amorim (2003), a perda de filtrado em fluidos de perfuração está relacionada com as partículas coloidais e com a quantidade de água no sistema. Maiores proporções de partículas coloidais indicam menores porcentagens de água e uma menor perda de filtrado. Já o volume de filtrado foi determinado segundo a norma N-2604 da Petrobras (1998). Esta medição do filtrado, foi obtida com o auxílio de um filtro prensa da marca Fann, de nº 300 e de um compressor de ar comprimido, este equipamento está apresentado na Figura 7, a seguir. Estes equipamentos estão localizados no Laboratório de Fluidos de Perfuração da Universidade de Brasília, no Campus Gama.



**Figura 7 - Filtro Prensa Fann, nº 300.** Fonte: Autoria própria.

### 3.4 Determinação dos Parâmetros Reológicos

#### 3.4.1 Viscosidade Aparente (VA)

A viscosidade aparente é definida por Rao e Rizvi (1986) apud Pinto (2008) como a viscosidade dependente da taxa de deformação, a qual pode ser entendida como a relação entre a tensão cisalhamento e a taxa de cisalhamento. Para chegar aos resultados, foi utilizado a formula (1).

$$VA = \frac{\theta_{600}}{2} \quad (1)$$

Onde, VA é a viscosidade aparente do fluido e  $\theta_{600}$  é a leitura em 600 rpm. A unidade de medida deste parâmetro é cP.

#### 3.4.2 Viscosidade Plástica (VP)

É uma propriedade que indica a resistência interna de um fluido à sua própria movimentação, ou seja, está relacionada com a resistência que o fluido oferece ao escoar (Livi, 2004).

De acordo com Amorim (2003), nos fluidos de perfuração aditivados com bentonitas, as partículas do argilomineral possuem forças atrativas e repulsivas devido à reação destas partículas com a quantidade de água associada às mesmas, o que acarreta em uma resistência ao escoamento do fluido. Para chegar aos resultados, foi utilizado a Fórmula (2).

$$VP = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (2)$$

$\theta_{600}$  e  $\theta_{300}$  são as leituras em 600 e 300 rpm, respectivamente e VP é a viscosidade plástica, com unidade de medida em cP.

#### 3.4.3 Limite de Escoamento (LE)

O limite de escoamento, propriedade decorrente das forças eletrolíticas das partículas do fluido, é definido como a mínima tensão de cisalhamento que deve ser submetida ao fluido para se iniciar o processo de escoamento. (Amorim, 2003). Para chegar aos resultados, foi utilizado a Fórmula (3).

$$LE = \theta_{300} - VP \quad (3)$$

A unidade do LE é dada em Pascal ou N/m<sup>2</sup>.

### 3.4.4 Força Gel (FG)

A força gel de um fluido é uma propriedade reológica associada ao fenômeno conhecido como tixotropia. Este fenômeno está relacionado a fluidos de perfuração que adquirem um estado semirrígido quando estão em repouso e voltam a adquirir um estado de fluidez quando estão novamente em movimento (Thomas, 2001).

O grau de tixotropia do fluido, ou seja, a força gel é aferida pela diferença entre a força gel final e a inicial, que se dá pela Formula (4).

$$FG = FG_f - FG_i \quad (4)$$

Onde FG designa a Força Gel do fluido e os índices, referem-se a final e inicial, respectivamente.

### 3.4.5 Volume de Filtrado (VF)

A medição deste parâmetro foi feita com a junção do filtro prensa a um compressor de ar, através de uma mangueira. Dentro do filtro prensa foi colocado um papel filtro, também da marca Fann, de número 50, para fins de coleta dos particulados presentes no fluido. Antes de colocar o fluido no copo do filtro prensa, ele precisou passar por um processo de agitação, para que o mesmo ficasse com todas as suas partículas suspensas; para isso ele foi agitado durante 1 minuto no misturador, com uma velocidade de 17000 rpm. Depois de reagitado, este fluido foi transferido para o copo do filtro prensa e aplicado uma pressão neste copo, em um intervalo menos de 30 segundos, de 100 psi. Assim, o fluido começou a ser filtrado e coletado por uma proveta durante 30 minutos. Decorrido este intervalo, o volume de filtrado foi mensurado para título de análises.

## 3.5 Determinação das Curvas de Fluxo

Para a determinação das curvas de fluxo dos fluidos de perfuração feitos neste presente trabalho, foi utilizado como base, os procedimentos descritos na norma N-2605 da Petrobrás (1998). A análise dessas curvas nos dá a relação de comportamento entre a tensão e a taxa de cisalhamento do fluido. Conforme a norma especifica, a partir das deflexões lidas ( $\theta$ ), pode-se calcular a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ), em Pascal, obtido pela Equação (5).

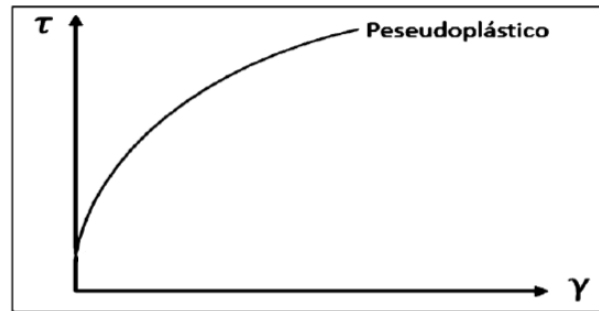
$$\tau = 0,51 \cdot \theta \quad (5)$$

Os valores da taxa de cisalhamento ( $\gamma$ ) em  $s^{-1}$ , são obtidos segundo a Equação (6), também disposta na norma.

$$\gamma = 1,703 \cdot N \quad (6)$$

Onde, N é a velocidade de rotação, dada em rotações por minuto (rpm).

A partir desses cálculos, feitos para cada tipo de fluidos é possível plotar-se o gráfico tensão ( $\tau$ ) vs taxa ( $\gamma$ ). O comportamento desta curva deve ter uma característica de um fluido não newtoniano, como são designados os fluidos de perfuração. O gráfico geral de uma curva típica de um fluido não newtoniano é similar à mostrada na Figura 8:



**Figura 8 - Curva de fluxo para fluidos de perfuração.** *Fonte: (Adaptado Rocha, 2008)*

### 3.6 Determinação do índice de consistência (K) e do índice de comportamento do fluido (n)

A determinação destes dois parâmetros é de suma importância para a análise comportamental dos fluidos analisados. Estes dois parâmetros foram calculados de acordo com a norma N-2605 da Petrobras e comparados com os valores especificados por ela. Estes dados são calculados a partir da curva de fluxo de cada fluido, onde uma reta, ajustada por meio do método dos mínimos quadrados, é plotada e obtida os respectivos valores de índice de consistência e comportamental do fluxo.

O índice consistência (K), que representa o grau de resistência do fluido durante o escoamento é obtido pela fórmula 7:

$$K = e^b * 1000 \quad (7)$$

Onde b representa o coeficiente linear da reta.

Já o índice de comportamento de fluxo, designado pela letra (n), indica o grau de proximidade do fluido estudado com o modelo newtoniano. Um fluido, quando dito newtoniano, possui um índice de comportamento de fluxo igual a uma unidade. Ou seja, quanto menor o valor deste índice indica que o fluido é não newtoniano. Este valor é obtido a parti do coeficiente angular da reta obtida através da curva de fluxo, pelo método dos mínimos quadrados.

### 3.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A caracterização por espectroscopia de infravermelho registra a absorbância ou transmitância de uma determinada amostra pelo número de onda (em  $\text{cm}^{-1}$ ) ou comprimento de onda (em  $\mu\text{m}$ ). Para a análise, a amostra é submetida à radiação infravermelha que é limitada pelo número de ondas entre 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , localizada entre a região visível e micro-ondas do espectro. Essa caracterização é a de maior uso para moléculas orgânicas (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRILL, 1991). O equipamento utilizado (Ver Figura 9) foi o Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR, disponibilizado pelo Laboratório Nanotecnologia da UnB/FGA.



**Figura 9 - Equipamento de Infravermelho.** *Fonte: Autoria própria.*

## 4 RESULTADOS

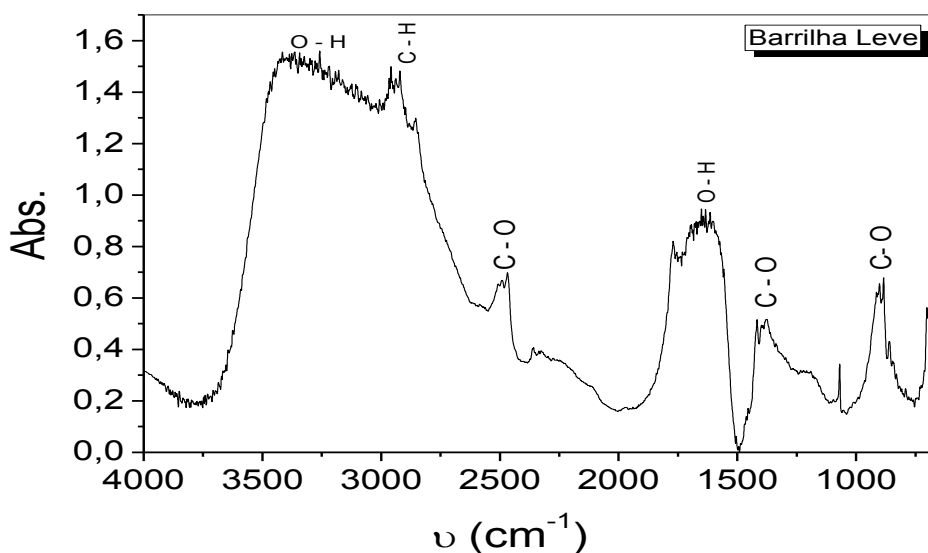
### 4.1 Caracterização Físico-química das bases e aditivos utilizando técnica FTIR

Visto que os estudos bibliográficos não apontam a descrever a composição química dos aditivos comerciais, sendo que é importante entender a função individual e o comportamento sinérgico quando misturados, neste trabalho aprofundamos caracterizar cada um destes utilizando a técnica FTIR. Os resultados obtidos nos espectros mostrados das Figuras 10-21, induzem a deduzir a possível composição química destes, e desta forma poder substituir alguns destes por compostos semelhantes.

Já os espectros correspondentes as bases utilizadas: água, diesel, biodiesel de mamona e biodiesel de soja, são apresentadas nas figuras 22-29, respectivamente.

#### **ADITIVO: BARRILHA LEVE**

A partir da análise do aditivo Barrilha Leve, feita no equipamento Thermo Nicolet Is -10, de espectrofotometria FTIR e obtivemos o seguinte espectro mostrado na Figura 14:



**Figura 10 - Espectro de infravermelho da Barrilha Leve.** Fonte: Autoria própria.

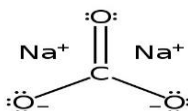
A partir do espectro mostrado anteriormente, foi feita a caracterização do aditivo, como mostra a Tabela 6:



**Tabela 6 - Caracterização da Barrilha Leve.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3420 – 3037 1628	O – H	Devido a presença de água.
2472 1400 897	C – O	Grupos carboxílicos
1774,41	C = O	Grupo carbonatos.

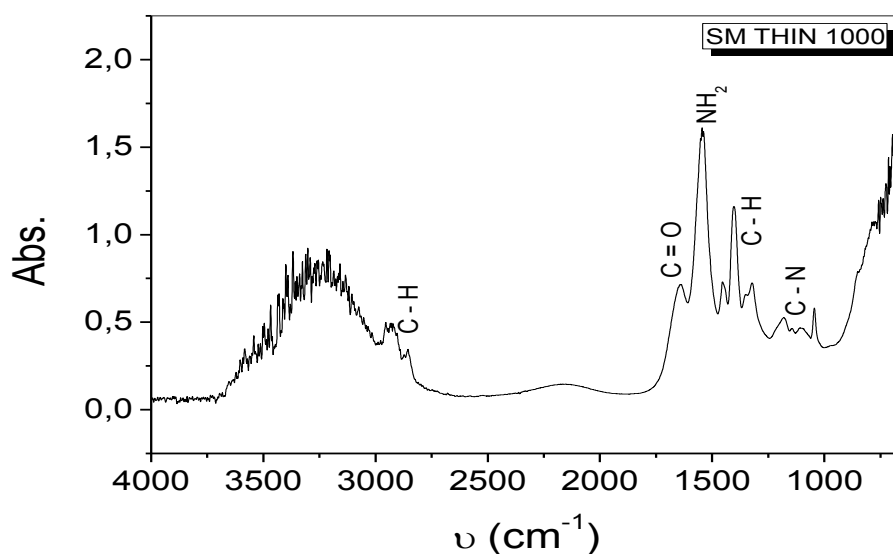
Com a devida caracterização, pode-se inferir que uma provável estrutura molecular do aditivo seja carbonato de sódio, que esta apresentada na Figura 15.



**Figura 11 - Possível estrutura molecular do aditivo – Barrilha Leve.** *Fonte: Autoria própria.*

#### **ADITIVO: SM THIN 1000**

A partir do espectro de infravermelho obtido deste aditivo, mostrado na Figura 16, foi possível fazer as devidas caracterizações, detectando assim os possíveis grupos funcionais (mostrados na Tabela 7) e consequentemente a possível estrutura molecular, como mostra a Figura 17.

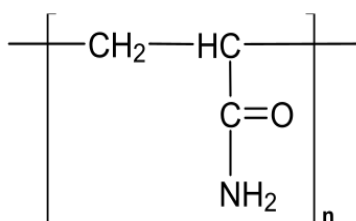


**Figura 12 - Espectro de Infravermelho do SM THIN 1000.** *Fonte: Autoria própria.*

**Tabela 7 - Caracterização do SM THIN 1000.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
2936 - 2855 1452 - 1315	C - H	Devido ao anel benzênico da celulose e a presença do polímero.
1638	C = O	De amida associada.
1537	NH <sub>2</sub>	Corresponde a uma deformação angular simétrica no plano.
1184 - 1038	C - N	Corresponde a uma deformação angular da molécula.

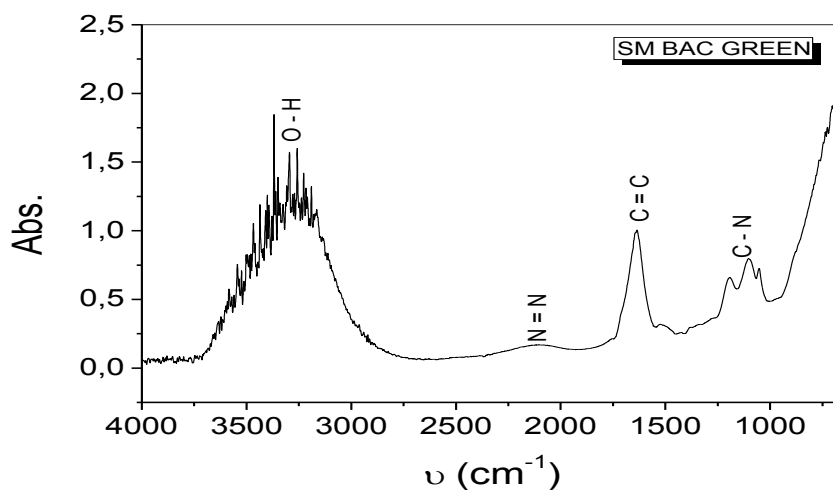
Com a devida caracterização, pode-se inferir que uma provável estrutura molecular do aditivo seja um composto de um biopolímero contendo celulose e algum polímero.



**Figura 13 - Possível estrutura molecular do aditivo SM THIN 1000.**

**ADITIVO: SM BAC GREEN**

A partir do espectro do SM BAC GREEN, mostrado na Figura 18, foi feita as respectivas caracterizações de seus picos (Tabela 8) e uma possível estrutura molecular foi obtida, mostrada na Figura 19.

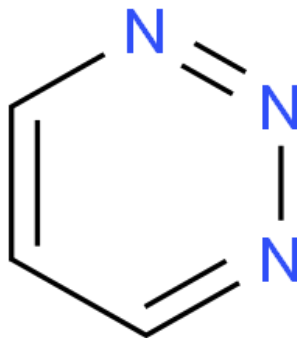


**Figura 14 - Espectro de infravermelho do SM BAC GREEN.** *Fonte: Autoria própria.*

**Tabela 8 - Caracterização do aditivo SM BAC GREEN.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3652 - 3132	O – H	Presença de água.
2118	N = N	Deformação axial de ligações duplas.
1194 - 1038	C – N	Corresponde a uma deformação angular da molécula.
1633	C = C	Devido a presença de anéis benzênicos.

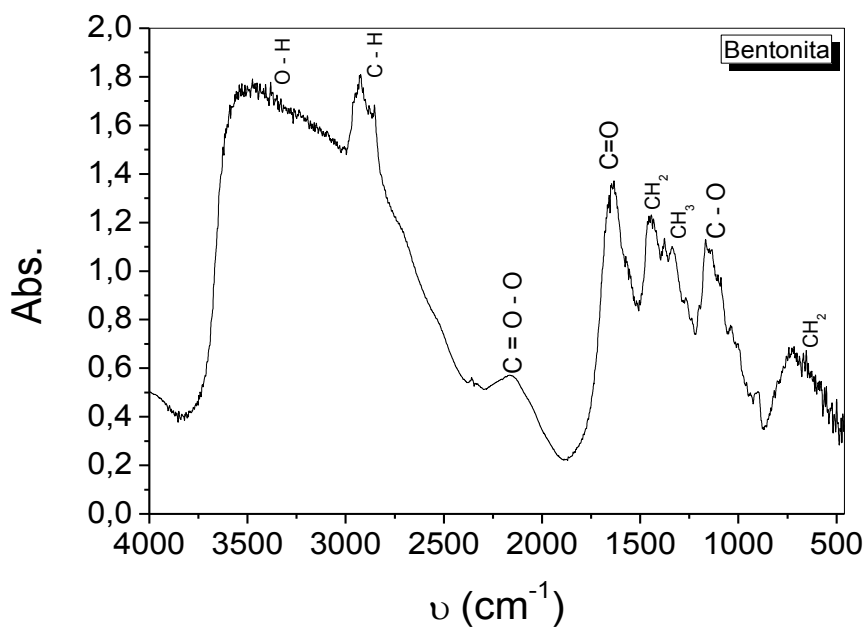
Conclui-se que, a partir da caracterização do aditivo, que uma possível estrutura do composto seja celulose, como mostra a Figura 23.



**Figura 15 - Possível estrutura molecular do aditivo SM BAC GREEN.**

**ADITIVO: SM PAC HV**

A partir da análise do aditivo SM PAC HV (Bentonita), foi obtido o seu espectro de infravermelho e assim feita a sua caracterização e obtida a conclusão de uma provável estrutura molecular, como mostram as Figuras 20 e 21, e a Tabela 9.

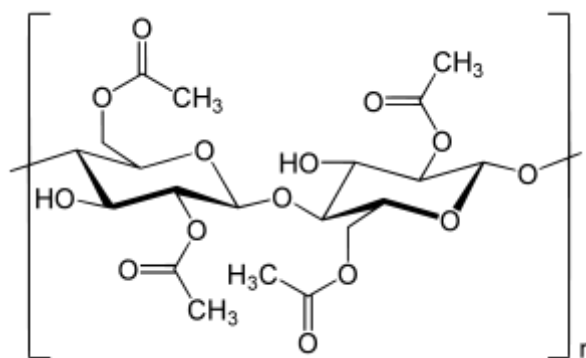


**Figura 16 - Espectro de infravermelho do SM PAC HV. Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 9 - Caracterização do SM PAC HV.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3532 - 3100	O - H	Devido a presença de água.
2155	C = O - O	Deformação axial de dupla ligação dupla acumulada.
1451 657	CH <sub>2</sub>	Deformação angular de CH <sub>2</sub> .
1345	CH <sub>3</sub>	Deformação angular de CH <sub>3</sub> .
1142	C - O	Éter alifático de óxido de carbono.

Conclui-se que, a partir da caracterização do aditivo, que uma possível estrutura do composto seja uma Celulose Poli – Aniônica, como mostra a Figura 21.

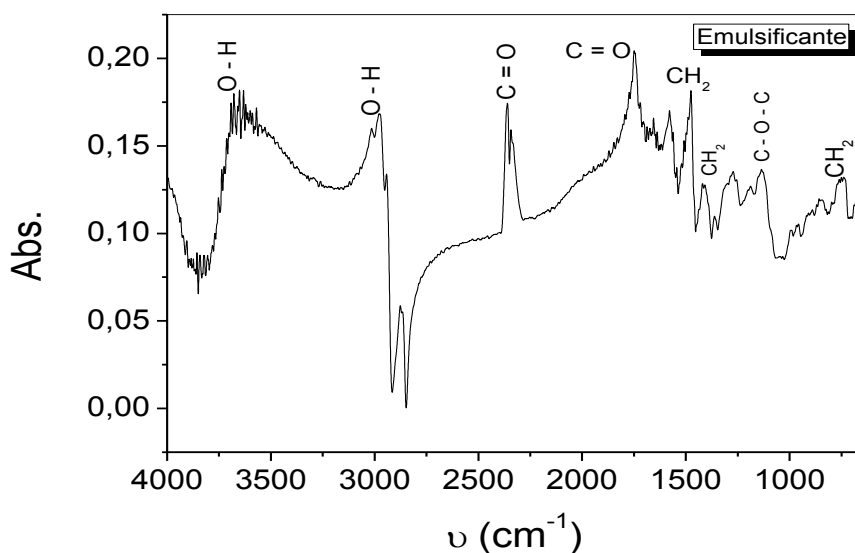
**Figura 17 - Estrutura molecular do aditivo – SM PAC HV.**

*Fonte: Galvão, 2007.*

Para os fluidos a seguir (Diesel, Biodiesel e Água), foram feitas as respectivas caracterizações de seus espectros, como estão dispostos a seguir.

**ADITIVO: LIOVAC 310P (EMULSIFICANTE)**

Partindo da análise do aditivo LIOVAC 310P, também se obteve o espectro de infravermelho deste aditivo, realizando assim a sua caracterização e a obtenção de uma possível estrutura molecular, como mostram as Figuras 22 e 23, e a Tabela 10.

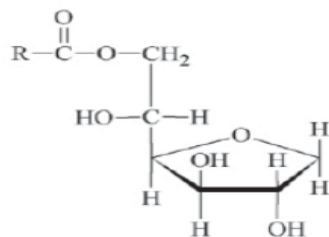


**Figura 18 - Espectro de infravermelho do LIOVAC 310P.** Fonte: Autoria própria.

**Tabela 10 - Caracterização do LIOVAC 310P.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3677 - 2834	O - H	Devido a presença de água.
2349 ; 1749 ; 1567	C = O	C=O de éster.
1472 ; 1406 ; 749	CH <sub>2</sub>	Devido as ligações CH <sub>2</sub> da estrutura.
1270 ; 1139	C - O - C	Devido a ligação do anel cíclico e do grupo carboxílico.

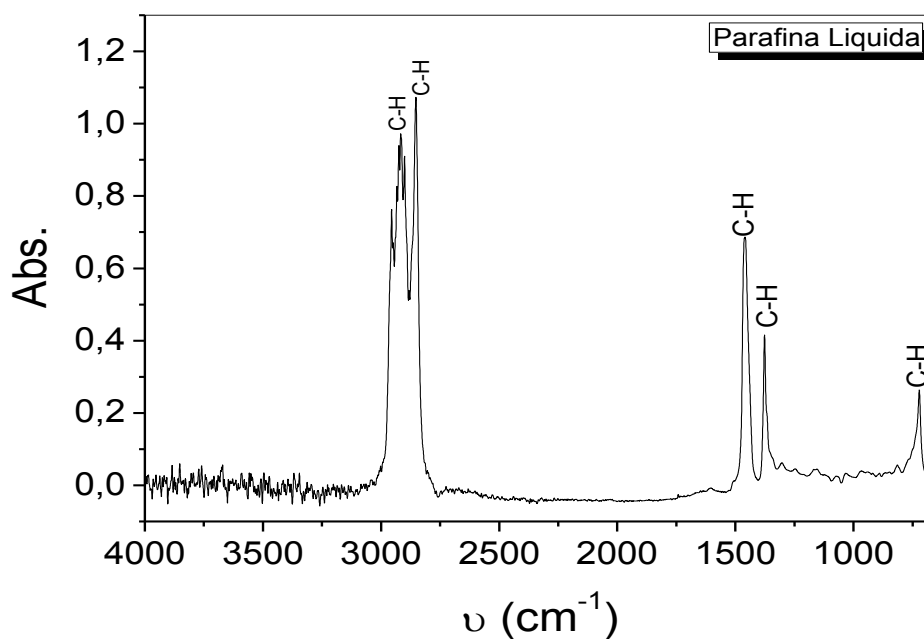
Conclui-se que, a partir da caracterização do aditivo, que uma possível estrutura do composto éster emulsificante, como mostra a Figura 23.



**Figura 19 - Estrutura molecular do aditivo – LIOVAC 310P.** *Fonte: (Adaptado de Santos, 2013)*

#### **ADITIVO: PARAFINA LIQUIDA**

E por fim, foi obtido o espectro da parafina líquida utilizada nas formulações. Sua caracterização foi feita para determinar a sua provável estrutura molecular. A Fig. (24) e a Tabela 11 ilustram o seu espectro e a sua respectiva caracterização:

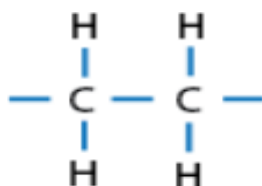


**Figura 20 - Espectro de infravermelho da Parafina Líquida.** *Fonte: Autoria própria.*

**Tabela 11 - Caracterização da Parafina Líquida.**

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
2916 ; 2850 ; 1462 ; 1371 ; 719	C – H	Devido as ligações CH da estrutura.

Portanto, com a caracterização realizada, podemos supor uma estrutura molecular para este aditivo, que está ilustrado na figura a seguir:

**Figura 21 - Espectro de infravermelho da Parafina Líquida.** *Fonte: Autoria própria.*

Para os fluidos a seguir (Diesel, Biodiesel da mamona, Biodiesel da soja e Água), foram feitas as respectivas caracterizações de seus espectros, como estão dispostos a seguir.

### DIESEL

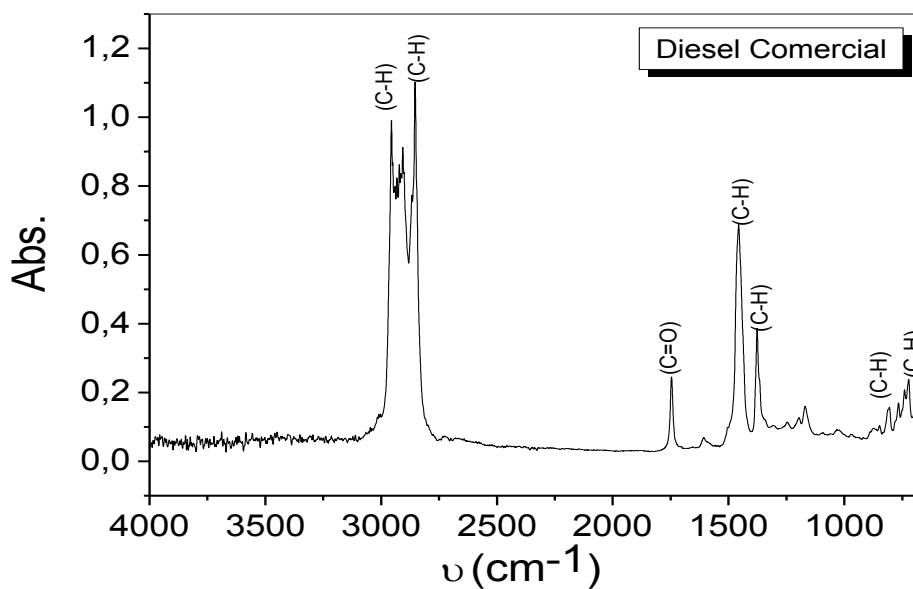
**Figura 22 - Espectro de Infravermelho do Diesel.** *Fonte: Autoria própria.*



Tabela 12 - Caracterização do Diesel.

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
2956 ; 2850 ; 1457 ; 1371; 811 ; 714	CH <sub>2</sub> ; CH <sub>3</sub>	Devido aos hidrocarbonetos da estrutura do diesel.
1734	C = O	Devido a presença do biodiesel no diesel comercial.

Confirma-se que o espectro mostrado na Figura 26, corresponde a um diesel comercial, que possui 5% de biodiesel em sua composição (Ver Figura 27).

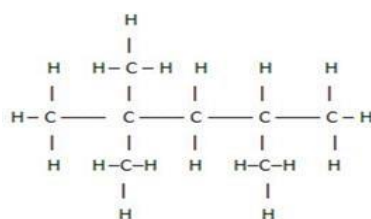


Figura 23 - Estrutura molecular do Diesel. Fonte: (Bigolin, 2014)

#### BIODIESEL DA MAMONA (LIOVAC 3217)

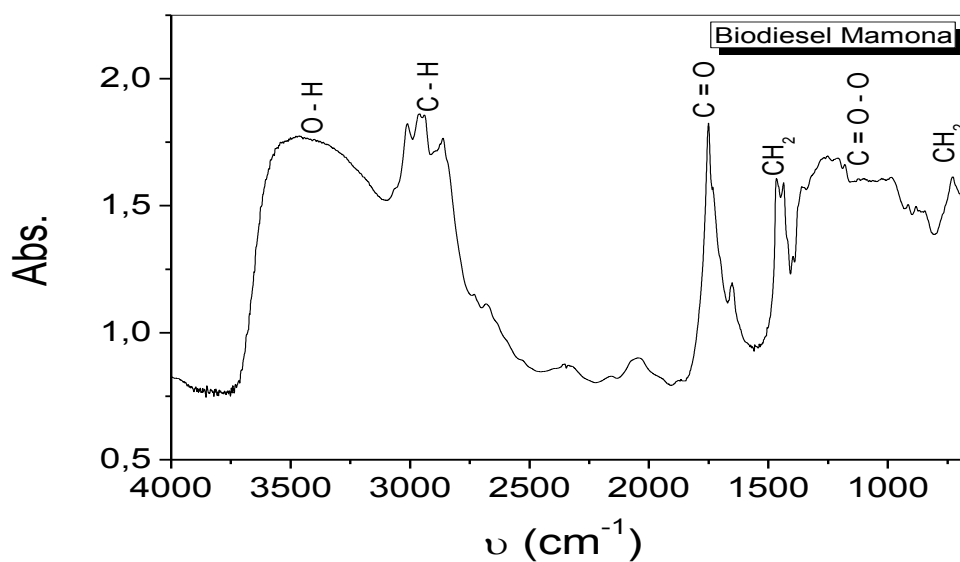


Figura 24 - Espectro de infravermelho do Biodiesel da Mamona. Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 - Caracterização do Biodiesel da Mamona.

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3455	O - H	Deformação axial da ligação O-H da hidroxila.
2961	H - C	Deformação axial da ligação H - C.
1759	C = O	Deformação axial da ligação dupla C = O.
1460	C - O	Deformação angular do grupo CH <sub>2</sub> .
1220	C = O - O	Deformação angular da ligação.
754	CH <sub>2</sub>	Deformações fora do plano do CH <sub>2</sub> .

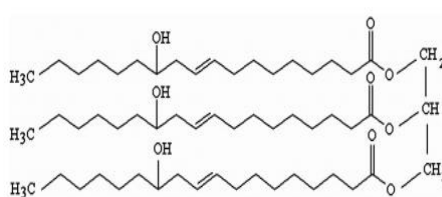


Figura 25 - Estrutura molecular do Biodiesel da Mamona.

Fonte: Galvão, 2007.

### **BIODIESEL DE SOJA (LIOVAC 3218)**

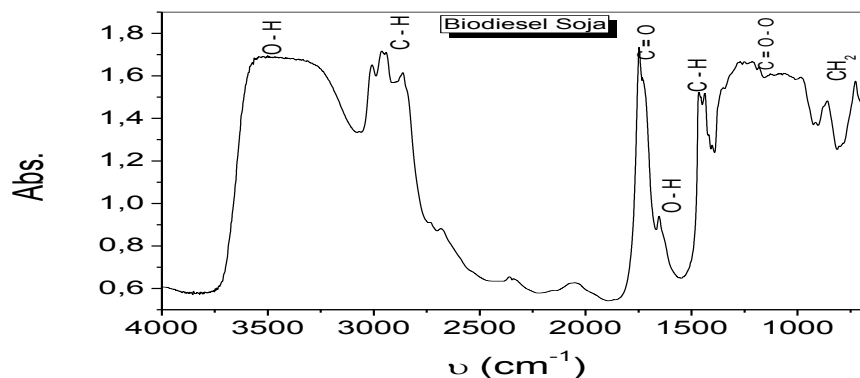


Figura 26 - Espectro de infravermelho do Biodiesel de Soja. Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 - Caracterização do Biodiesel da Soja.

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3455	O - H	Deformação axial da ligação O-H da hidroxila.
2961	H - C	Deformação axial da ligação H - C.
1759	C = O	Deformação axial da ligação dupla C = O.
1460	C - O	Deformação angular do grupo CH <sub>2</sub> .
1220	C = O - O	Deformação angular da ligação.
754	CH <sub>2</sub>	Deformações fora do plano do CH <sub>2</sub> .

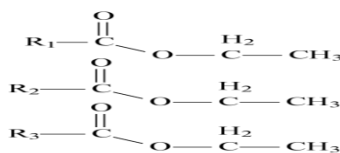


Figura 27 - Estrutura molecular do Biodiesel da Soja.

Fonte: Galvão, 2007.

## ÁGUA

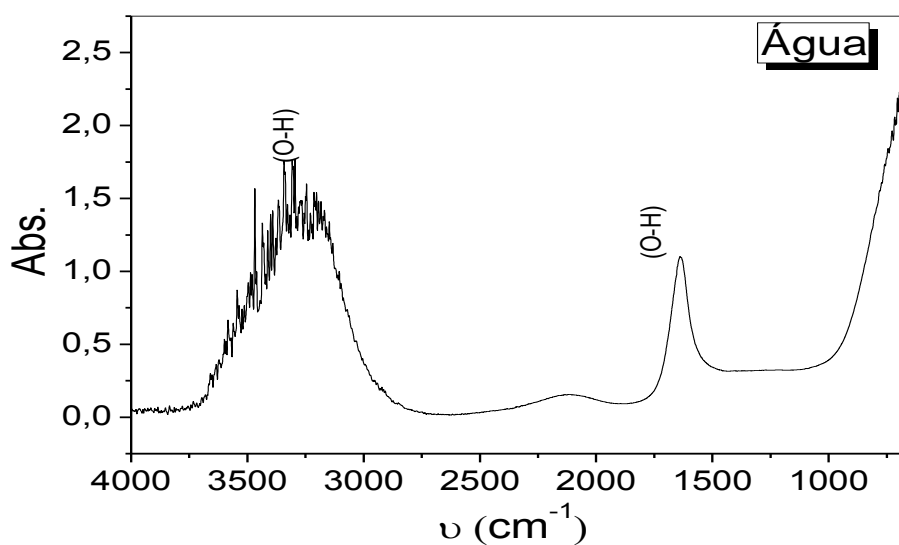


Figura 28 - Espectro de infravermelho da Água.

Tabela 15 - Caracterização da Água.

NUMERO DE ONDAS (cm <sup>-1</sup> )	GRUPO FUNCIONAL	COMENTÁRIOS
3726 - 2778	O – H	Devido à estrutura da água.
1661		

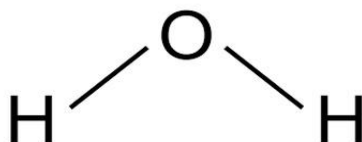
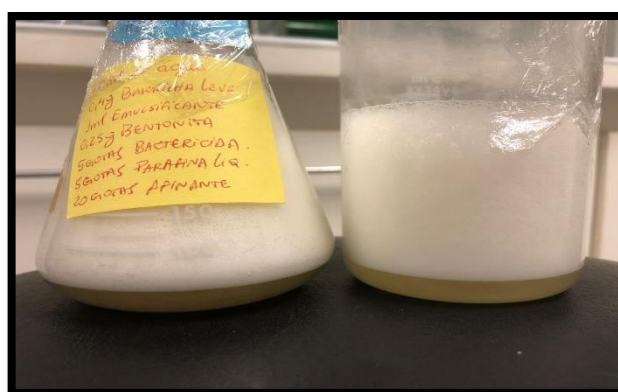


Figura 29 - Estrutura molecular da água.

*Fonte: Autoria própria.*

## 4.2 Estudo de Estabilidade das emulsões dos fluidos formulados

Os testes de estabilidade de emulsão foram observados após um período de 24 horas deixando a emulsão em repouso em condições ambientais, assim foram observados se ocorreu separação de fases ou se as emulsões estabilizavam. O fluido X (100% de água) quando recém formulado apresentou abundante espuma e uma coloração esverdeada, totalmente homogênea, ou seja, sem precipitação de partículas dos aditivos (bastante solúveis), como mostra a Figura 30. Observou-se que após 24 horas a estabilidade continua e a espuma some com o tempo.



**Figura 30 - Fluido de perfuração X (100% água).** *Fonte: Autoria própria.*

O fluido Y, formulado a partir da emulsão de diesel e água (ROA 50/50), apresentou um comportamento bastante homogêneo nas primeiras horas após de ter deixado o agitador, apresentando posteriormente, depois de 24 horas, uma separação de três fases, como mostra a

Figura 31, a seguir. Acredita-se que a fase menos densa, seja o próprio diesel, com a coloração avermelhada; a fase intermediária seja emulsão parcial entre o diesel, a água e os aditivos, com uma coloração rosa claro; e por último, a fase da água, esverdeada devido a coloração dos aditivos.



**Figura 31 - Fluido de perfuração Y (ROA 50/50 – Diesel/Água).** *Fonte: Autoria própria.*

As emulsões 1A e 2A são apresentadas na Figura 32. De todas as formulações, estas foram as que apresentaram uma melhor característica de homogeneidade. O fluido de perfuração 1A apresentou uma maior viscosidade que o 2A e ambas apresentaram uma cor branca, diferenciando apenas na tonalidade, devido a diferença de coloração do tipo de biodiesel utilizado na formulação.



**Figura 32 - Fluidos de perfuração 1A e 2A, respectivamente (ROA 50/50).** *Fonte: Autoria própria.*

As formulações 1B e 2B, que estão mostradas na Figura 9, ambas apresentaram uma característica heterogênea, após serem deixadas 24 horas em repouso. A formulação 1B apresentou uma viscosidade maior, quando comparada a 2B e uma homogeneidade mais visível.



**Figura 33 - Fluidos de perfuração 1B e 2B, respectivamente (ROA 70/30).** *Fonte: Autoria própria.*

Os fluidos 1C e 2C apresentaram características bastantes peculiares. A formulação 1C apresentou uma característica totalmente homogênea, com uma viscosidade mais elevada e quase nenhuma formação de bolhas. Estas características podem ser vistas na Figura 34, a seguir:



**Figura 34 - Fluidos de perfuração 1C e 2C, respectivamente (ROA 80/20).** *Fonte: Autoria própria.*

Já a lama 2C, apresentou um caráter heterogêneo, decorrido algumas horas de repouso e uma viscosidade menor, quando comparada ao fluido 1C.

## 4.2 Ensaios Reológicos dos Fluidos de Perfuração

Todos os resultados dos parâmetros reológicos realizados nas lamas de perfuração foram calculados a partir das leituras de suas deflexões mensuradas no viscosímetro e estão dispostos na Tabela (16). Estes resultados foram comparados com os valores mínimos exigidos pela

norma da Petrobras para fluidos de perfuração aquosos. Apesar deste projeto tratar-se do estudo de emulsões com diferentes proporções de óleo/água, os parâmetros reológicos destes fluidos foram comparados com esta norma a fim de nos basearmos em algo esteja quase que consolidado na literatura, visto o fato que estudos com formulações de fluidos de perfuração à base de emulsões estão em fase de desenvolvimento, com poucas referências bibliográficas.

**Tabela 16 - Medidas de deflexão realizada no viscosímetro Fann 35A, para os fluidos preparados.**

$\Theta$ (rpm)	Fluido X (cP)	Fluido Y (cP)	Fluido 1A (cP)	Fluido 2A (cP)	Fluido 1B (cP)	Fluido 2B (cP)	Fluido 1C (cP)	Fluido 2C (cP)
$\Theta_{600}$	87	90,5	48,5	43,5	146,5	128,5	87	29,5
$\Theta_{300}$	53	59,5	31	29,5	95	81	51	18,5
$\Theta_{200}$	45,5	45,5	23,5	22	73,5	63	39	13
$\Theta_{100}$	32	28,5	15	14,5	48,5	41,5	23,5	6,5
$\Theta_6$	7,5	7	5,5	6	13,5	9	5,5	2
$\Theta_3$	5,5	5,5	4,5	3,5	11	6,5	1,5	1,5
<b>FGi</b>	4,5	4,5	5,5	4	11	5	2,5	1,5
<b>FGf</b>	5,5	5,5	6,5	4,5	12	8	3,5	2,0

Os resultados dos estudos reológicos feitos nos fluidos de perfuração desenvolvidos neste trabalho estão dispostos na Tabela (17). A fim de que tenhamos uma boa noção de que os fluidos desenvolvidos atendem ou não aos parâmetros tidos como ideais pela Petrobras, segundo a norma, os valores limites destas propriedades reológicas, também estão dispostos nesta tabela:

**Tabela 17 - Resultados dos Ensaios Reológicos.**

Tipo de Fluido	VA (cP)	VP (cP)	LE (N/m <sup>2</sup> )	FG (cP)	Volume de Filtrado (ml)
<b>Padrão Petrobras</b>	<b>&gt; 15</b>	<b>&gt; 4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>&lt; 18</b>
<b>FLUIDO X</b>	43,5	34	19	1	5
<b>FLUIDO Y</b>	45,25	31	28,5	1	8
<b>FLUIDO 1A</b>	24,25	17,5	13,5	1	13

<b>FLUIDO 2A</b>	21,75	14	15,5	0,5	9
<b>FLUIDO 1B</b>	73,25	51,5	43,5	1	11
<b>FLUIDO 2B</b>	64,25	47,5	33,5	3	-
<b>FLUIDO 1C</b>	43,5	36	15	1	5
<b>FLUIDO 2C</b>	14,75	11	7,5	0,5	7

Pela Tabela 17, podemos observar que quase todas as formulações de fluidos de perfuração atendem aos requisitos mínimos exigidos pela norma N-2604 da Petrobras, com exceção do fluido 2C, que foi o único fluido que não obteve o valor mínimo de VA exigido pela norma, mas ficou bastante próximo.

Os fluidos X e Y foram formulados a títulos de comparação com os demais, que são o objeto de estudo deste projeto, as emulsões de biodiesel/água. O fluido Y (diesel/água), por tratar-se de um fluido formulado com um dos constituintes base mais utilizado atualmente em atividades de campo de exploração (diesel) e o Fluido X (100% água), por ser o fluido padrão da norma na qual estamos adotando como referência.

O Fluido Y, formulado com uma ROA 50/50 de óleo diesel e água destilada, ficou com uma cor de rosa bem claro, uma viscosidade relativamente boa, apresentando uma VP aceitável, em termos de sua resistência interna, que o fluido oferece ao escoar. Os parâmetros reológicos obtidos estão bem próximos e dentro do aceitável pela norma, quando comparado aos parâmetros do Fluido X, que tem como constituinte base apenas a água.

Os fluidos 1A (biodiesel de mamona) e 2A (biodiesel de soja) com ROA 50/50 diferem apenas do tipo da matéria prima do biodiesel utilizado na formulação. Ambos os fluidos atenderam aos requisitos da Norma em todos os aspectos. Observou-se também que os fluidos formulados nesta razão 50/50 apresentam uma emulsão bastante consistente, além de ressaltar que o fluido 1A apresenta uma maior viscosidade e lubricidade.

Apesar dos fluidos 1B e 2B com ROA 70/30 não terem apresentado uma emulsão totalmente homogênea, apresentaram os maiores resultados reológicos, quando comparados com as demais formulações, estes alcançaram valores de VA, VP, LE, FG e VF acima do que a norma exige como valores limites. Este fato justifica o motivo desta ROA (70/30) ser a mais utilizada em campos de perfuração, segundo alguns autores.

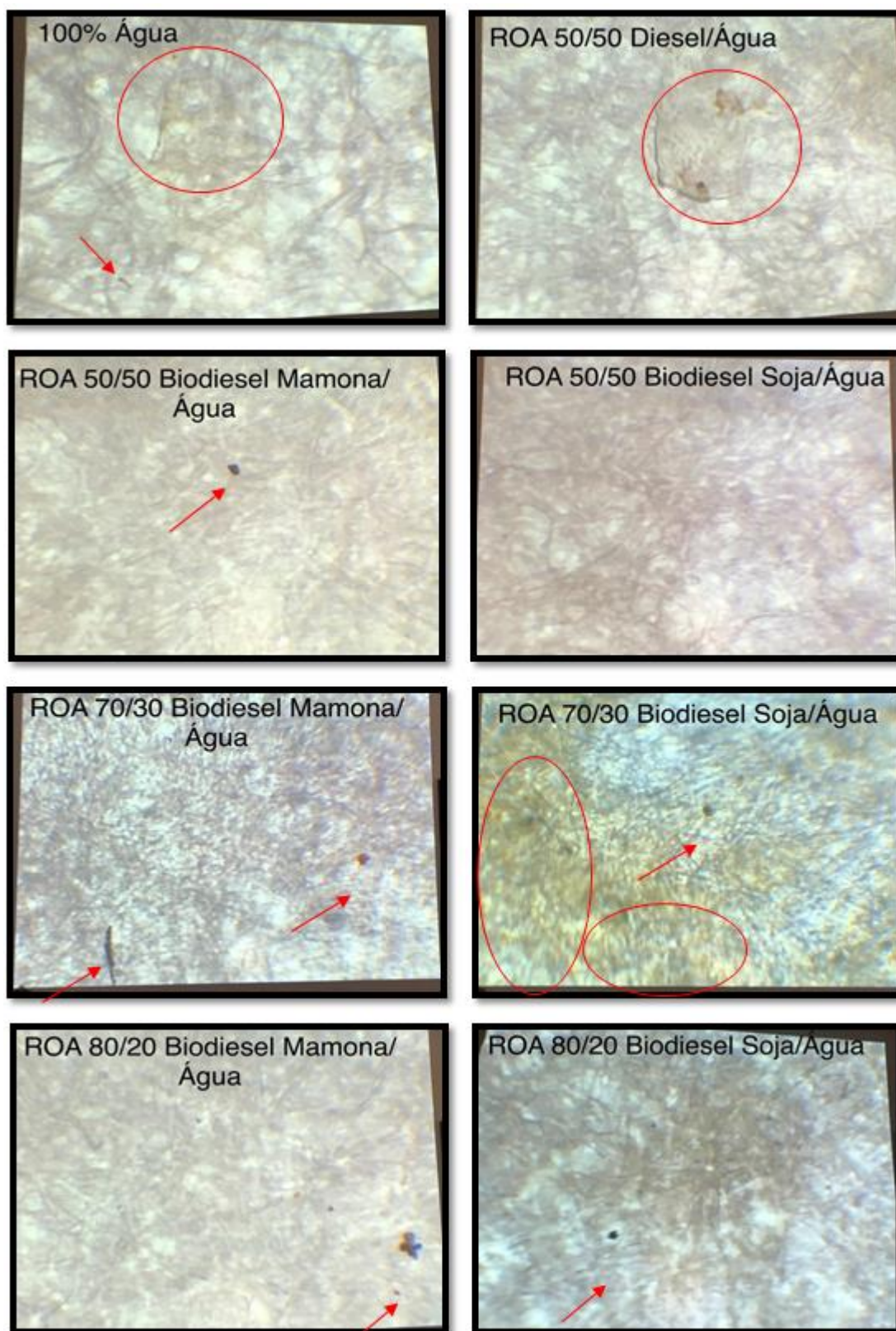


Já os fluidos 1C e 2C, com composições de 80% de biodiesel e 20% de água, obtiveram valores discrepantes dos parâmetros reológicos, quando comparado com as demais formulações de diferente razão óleo/água, mudando apenas o tipo de biodiesel utilizado. Por exemplo, as formulações com ROA 50/50, apesar de ter mudado apenas o tipo de biodiesel em sua composição, apresentaram valores reológicos relativamente próximos, entre uma formulação e outra. O mesmo caso aconteceu para os fluidos produzidos com ROA 70/30. Entretanto, para as lamas produzidas com ROA 80/20, houve uma enorme diferença entre sua reologia; quase que triplicou os valores das suas viscosidades (aparente e plástica), entre a formulação produzida com óleo de soja e a feita com óleo da mamona. Esta situação pode ser justificada pelo fato da emulsão ter sido mais eficiente no fluido 1C, pois como pôde-se observar na Figura 34 este fluido apresentou uma emulsão totalmente homogênea e com uma maior viscosidade, comparada ao fluido 2C, devido a maior viscosidade do biodiesel da mamona.

Quanto aos volumes de filtrado das formulações estudadas, podemos inferir que todas as formulações se apresentaram coerentes em relação ao valor especificado pela Petrobras, e por tanto as perdas obtidas no processo de perfuração são mínimas, e induz a uma diminuição dos custos. Além disto, podemos inferir que todos os fluidos formulados apresentam uma boa estabilidade coloidal.

Além de serem analisados os parâmetros reológicos de todos os fluidos produzidos, achou-se necessário analisar microscopicamente os particulados presentes nesses fluidos, advindos dos aditivos sólidos adicionados a eles. Portanto, foi feita uma avaliação de microscopia óptica com uma aproximação de 30 vezes, que possibilitou observar a quantidade de particulado que foi retido no papel de filtro. Conforme apresentado nas micrografias obtidas nos 8 tipos de fluidos de perfuração analisados e estas estão dispostas na Figura 35.

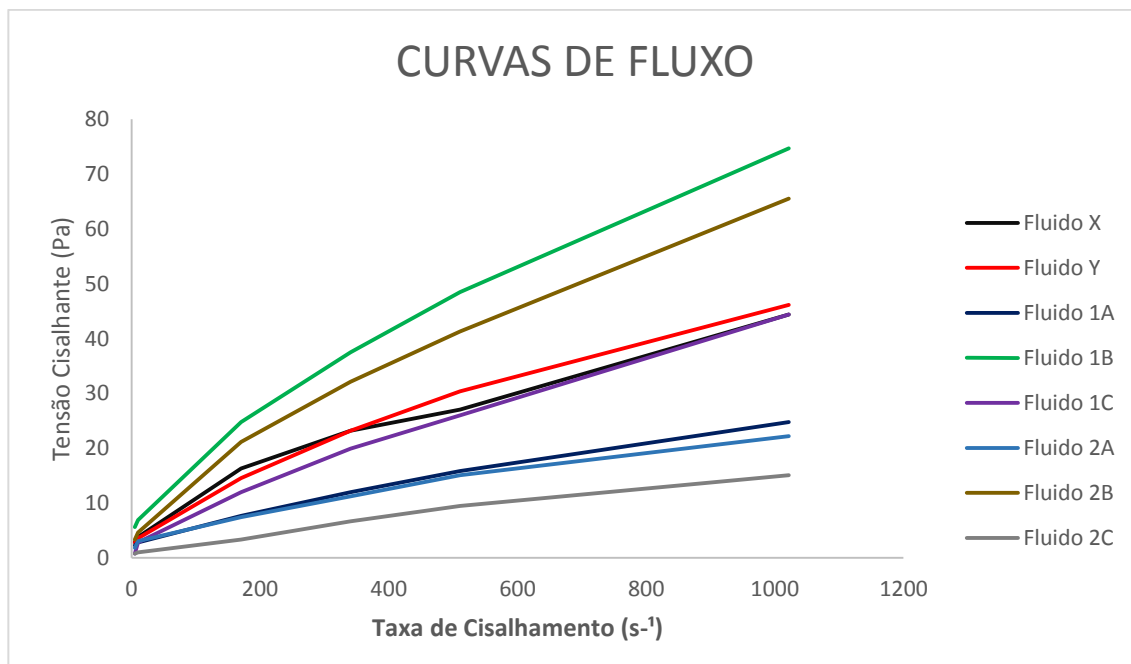
Através das análises das micrografias, pode-se observar que em todas as amostras os tamanhos dos particulados presentes são idênticos, o que era de se esperar, pois em todas as formulações foram utilizados as mesmas quantidades e os mesmos aditivos. No caso das amostras dos fluidos X (100% água) e do fluido Y (50% diesel e 50% água), pode-se observar que há menos particulado presente no papel filtro da amostra Y, inferindo-se que houve uma maior dissolução dos aditivos na emulsão. Contudo, em todos os outros casos das amostras, podemos ver que há menos particulado presente nas amostras dos fluidos produzidos com biodiesel advindo do óleo de mamona, ou seja, houve uma melhor dispersão dos aditivos utilizados nos fluidos formulados com óleo de mamona, quando comparado aqueles formulados com óleo de soja. Estas características podem ser explicadas pelo fato da viscosidade do biodiesel da mamona ser maior, facilitando assim a dissolução destes aditivos no meio emulsionado.



**Figura 35 - Micrografias dos particulados presentes em cada tipo de fluidos de perfuração. Fonte: Autoria própria.**

### 4.3 Curvas de Fluxo

As curvas de fluxo dos fluidos preparados neste projeto, bem como os parâmetros destas curvas, foram definidas por meio do modelo de potência utilizando-se o programa Microsoft Excel. As curvas de fluxo dos fluidos X, Y, 1A, 2A, 1B, 2B, 1C e 2C são apresentados na Figura 36 e estão representadas pelas cores conforme descreve a legenda do gráfico:



**Figura 36 - Curvas de fluxo para os oito tipos de fluidos produzidos.** Fonte: Autoria própria.

A partir destas curvas de fluxo, foi possível calcular o índice de consistência (K) e o índice de comportamento de fluxo ( $n$ ) de cada formulação, conforme a Lei de Potência de Ostwald de Walle e estes dados estão na Tabela 18:

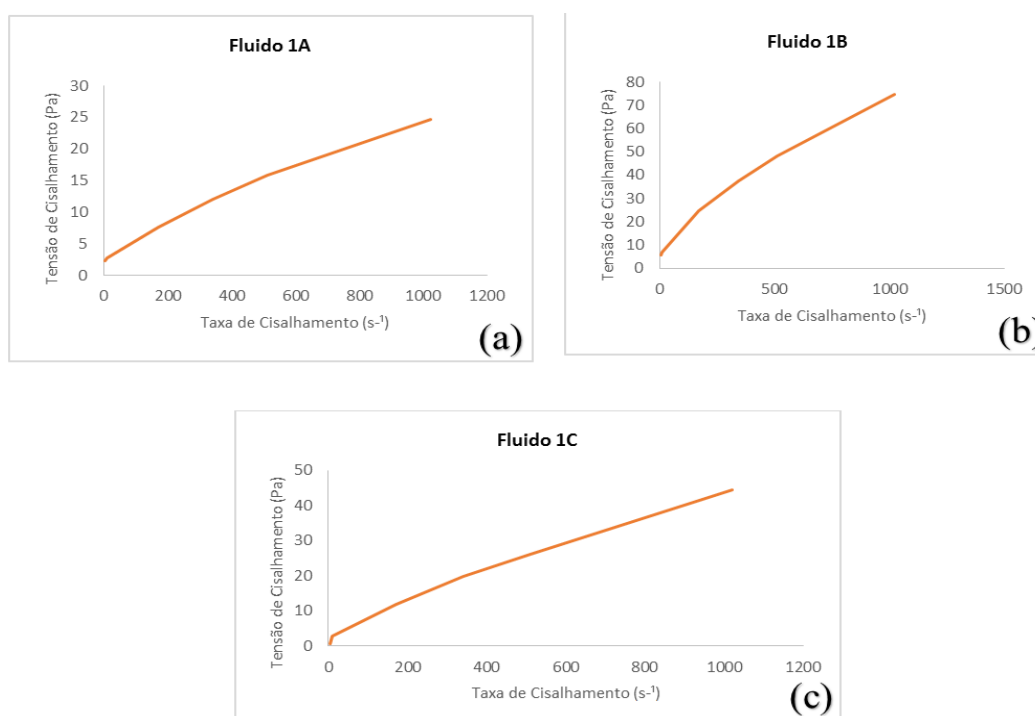
**Tabela 18 - Parâmetros dos fluidos de perfuração.**

Tipo de Fluido	Equação da Reta	Índice de Comportamento ( $n$ )	Índice de Consistência (K)
<b>Fluido X</b>	$y = 0,0397x + 5,9771$	0,0397	1,787935501
<b>Fluido Y</b>	$y = 0,0426x + 5,4736$	0,0426	1,699936535
<b>Fluido 1A</b>	$y = 0,022x + 3,3241$	0,022	1,201198961
<b>Fluido 1B</b>	$y = 0,0676x + 9,7838$	0,0676	2,280727957
<b>Fluido 1C</b>	$y = 0,0419x + 3,2601$	0,0419	1,18175787
<b>Fluido 2A</b>	$y = 0,0197x + 3,3551$	0,0197	1,210481576
<b>Fluido 2B</b>	$y = 0,0605x + 7,2369$	0,0605	1,979192938
<b>Fluido 2C</b>	$y = 0,0143x + 1,1418$	0,0143	1,132605965
<b>Valores da Petrobras</b>	-	< 0,6	> 0,8

Conforme as curvas de fluxo, mostradas na Figura 35, e tomando como base a literatura, podemos conferir o fato de que os fluidos de perfuração produzidos têm um comportamento de um fluido não newtoniano, como explica o item 2.6.2. Além disso, ao observamos a Tabela 18, vemos que tanto o índice consistência, quanto o índice de comportamento de fluxo, de todas as formulações, atende aos requisitos da norma, significando que os fluidos desenvolvidos se afastam do comportamento newtoniano, como esperado. Enquanto isso, os índices de consistência de todas as formulações tiveram bons resultados, acima do mínimo exigido pela norma.

Da Figura 36, ainda podemos inferir, a partir da análise comportamental dos perfis das curvas de fluxo, dos fluidos X e Y, que foram tidos como parâmetro de análise durante todo este projeto, que o comportamento do Fluido 1C (curva roxa) apresentou um comportamento muito parecido com aqueles dois últimos fluidos mencionados (Fluidos X e Y). Contudo, isso caracteriza uma excelente amostra, pois trata-se de uma possível substituição por um fluido menos tóxico, biodegradável e ambientalmente correto, em aplicações na exploração de petróleo.

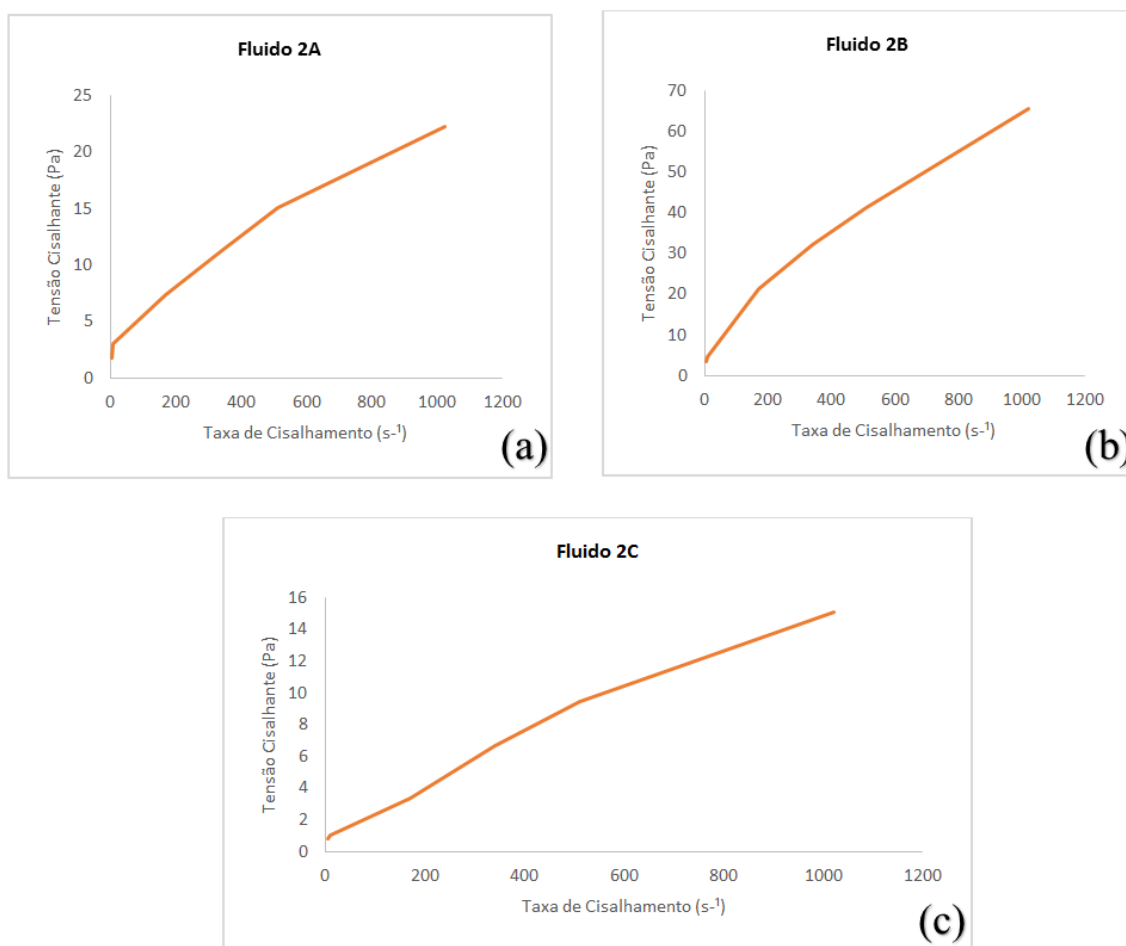
As demais curvas serão detalhadas e discutidas a partir de agora, uma a um, de acordo com a sua ROA e também, com o tipo de biodiesel utilizado nas formulações:



**Figura 37 - Curvas de fluxo dos fluidos produzidos a partir do Biodiesel da mamona.**  
 (a) ROA 50/50, (b) ROA 70/30 e (c) ROA 80/20. *Fonte: Autoria própria.*

Pelos gráficos dispostos na Figura 37, ambos formulados com biodiesel proveniente da mamona, como seu constituinte base, apresentam comportamentos semelhantes de fluidos pseudoplástico, ou seja, não newtoniano. Outro fator observável nesses perfis, são as suas diferenças de viscosidade, onde eles se configuram na seguinte forma, em ordem decrescente de viscosidade:  $1B > 1C > 1A$ , onde o fluido 1B foi o fluido mais viscoso e, por conseguinte, apresentou a curva de fluxo mais acentuada de todas, incluindo as curvas das formulações com biodiesel de soja, como pode ser visto na Figura 37. Outra característica bastante peculiar destes perfis é a necessidade mínima de uma tensão de cisalhamento para que o fluido comesse a escoar, também característica de um comportamento pseudoplástico.

A seguir, são apresentados os perfis das formulações feitas com o biodiesel de óleo de soja, mostradas na Figura 38:



**Figura 38 - Curvas de fluxo dos fluidos produzidos a partir do Biodiesel de soja.**

**(a) ROA 50/50, (b) ROA 70/30 e (c) ROA 80/20. Fonte: Autoria própria.**

Na figura anterior, correspondente aos fluidos na base biodiesel de soja, que também se comportam de forma bastante semelhantes, sendo perceptível as suas diferenças de viscosidades, de acordo com proporção óleo/água utilizada na formulação. Suas configurações em ordem decrescente de viscosidade são:  $2B > 2A > 2C$ . É bem notório a discrepância de quão mais acentuada é a curva do fluido 2B, com relação aos fluidos 2A e 2C, que inclusive, são os fluidos com menor viscosidade produzidos neste projeto e, conseqüentemente, possuem as curvas de fluxo menos acentuadas.

## 5 CONCLUSÕES

- A técnica de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foi uma ferramenta importante neste estudo já que permitiu, mediante aos espectros obtidos, observar os grupos funcionais das estruturas químicas características dos aditivos e dos constituintes base. Particularmente, nos resultados dos espectros dos aditivos comerciais, pois os fabricantes fornecem poucas informações sobre a natureza química destes. Conclui-se, depois da interpretação dos espectros, o possível princípio ativo que fornecem as propriedades reológicas características, facilitando a substituição de alguns deles e ficar menos dependente de um fornecedor comercial.

- Das formulações estudadas, foi evidenciado que os fluidos na base biodiesel da mamona foram os que obtiveram os melhores resultados, tanto na homogeneidade, quanto na consistência da emulsão. Assim os fluidos 1A, 1B e 1C, ambos formulados com biodiesel da mamona, apresentam resultados superiores dos parâmetros reológicos, quando comparados às respectivas formulações de mesma ROA, formuladas com o biodiesel de soja (2A, 2B e 2C) respectivamente.

- A adição mínima de aditivos emulsificante (1ml) nas formulações preparadas foi um parâmetro importante para obter emulsões estáveis, e atingido este objetivo nesta parte de TCC-2.

- Os testes de volume de filtrado (VL) nos fluidos formulados foram eficientes, pois apresentaram resultados inferiores ao mínimo exigido pela norma da Petrobras (<18 ml), isto indica uma perda mínima de fluido durante o processo de perfuração, e uma diminuição de custos.

- A técnica de microscopia óptica resultou ser útil na detecção da quantidade de particulado no papel filtro dos fluidos. Foi observada a presença de maior número de particulado retido no papel de filtro nas formulações na base biodiesel de soja quando comparado com as formulações na base de biodiesel de mamona, portanto as dispersões foram melhores com biodiesel de mamona.

- Através das curvas de fluxo podemos concluir que dentre todas as formulações desenvolvidas, a que teve um melhor desempenho foi o fluido 1C (ROA 80/20) na base de biodiesel de mamona. Onde o seu comportamento se assemelha bastante as curvas designadas aos fluidos X (água) e Y (diesel/água), tidos como padrão. Portanto, as vantagens quanto a esta substituição seriam que substituindo diesel pelo biodiesel de mamona, além de obter propriedades reológicas semelhantes, consegue-se uma melhoria na lubrificação dos

equipamentos (brocas), acarretando em uma menor taxa de corrosão e danificação dos mesmos, pois estes são os principais agravantes presentes em fluidos de perfuração a base de água.

- Quanto aos índices de comportamento e de consistências dos fluidos produzidos, podemos concluir que todas as formulações feitas atendem aos requisitos da norma e possuem comportamento de fluidos pseudoplásticos, isto pode ser visto também através das curvas de fluxo dos fluidos formulados e podemos notar a necessidade de uma tensão mínima para que estes fluidos comecem a escoar, comprovando o que diz a literatura quanto a fluidos de perfuração.

Por fim, neste trabalho temos atingido o objetivo de formular Biofluidos de Perfuração aplicados a processos de extração de petróleo, cujos resultados mostram-se muito interessantes. Desta forma, um estudo contínuo sobre esses fluidos e aditivos pode gerar soluções inovadoras na busca de obter biofluidos de perfuração estável, biodegradável, menos tóxicos e que seja menos danoso ao meio ambiente, quando comparado aos fluidos a base diesel. Neste caminho aplicamos fontes renováveis (biodiesel) a processo de produção de petróleo, uma fonte não renovável de grande interesse no estudo de Engenharia de Energia.

## **5.2 Propostas para Futuros Projetos**

Objetivando uma melhor performance dos resultados obtidos neste projeto, sugere-se a adoção das seguintes medidas para a realização das análises dos fluidos de perfuração, para que ocorra um melhor desempenho destas formulações:

- ✓ Executar o aprimoramento dos fluidos produzidos a partir da adição ou diminuição da concentração de aditivos, de acordo com as funções e características dos mesmos, a fim de obter um melhor desempenho.
- ✓ Realizar uma simulação de perfuração mais realística, utilizando os fluidos produzidos e analisar os fatores relevantes para o desempenho dos fluidos.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, A. L., **Estudo dos fluidos de perfuração e seus impactos relacionados às atividades da indústria de petróleo**, Monografia de Graduação, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2005.
- AMORIM, L. V., **Melhoria, Proteção e Recuperação da Reologia de Fluidos Hidroargilosos para Uso na Perfuração de Poços de Petróleo**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2003.
- AMUI, S., **Reologia**, Divisão de Ensino, Editora DIVEN, 1979.
- ASSIS I., **Fluidos de Perfuração I – Introdução aos Fluidos de Perfuração**, 1ª Edição, Universidade Integrada do Brasil - UNTBR, 2011.
- GALVÃO, L. P. F. C., **Avaliação termoanalítica da eficiência de antioxidantes na estabilidade oxidativa do biodiesel da mamona**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2007.
- BONIFÁCIO, M. V. H., **Desenvolvimento de Biofluidos de Perfuração a Base de Óleo para poços de Petróleo**, Universidade de Brasília, 2014.
- FARIAS, K. V., **Influência de Umectante Aniônico na Reologia e Espessura do Reboco de Fluidos Hidroargilosos**, Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2005.
- FARIAS, K. V.; AMORIM, L. V., LIRA, H. L., **Desenvolvimento de fluidos aquosos para aplicação em perfuração de poços de petróleo – Parte 1**, Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2008.
- MACHADO, J. C. V., **Reologia e Escoamento de Fluidos – Ênfase na Indústria de Petróleo**, 1ª Edição, Editora Interciência, 2002.
- PETROBRAS, **Viscosificante para Fluidos Base Água na Exploração e Produção de Petróleo**, N-2604, 1998.
- PETROBRAS, **Ensaio de Viscosificante para Fluidos Base Água na Exploração e Produção de Petróleo**, N-2605, 1998.
- SANTOS, M. B., **Perfuração de Poços de Petróleo: Fluidos de Perfuração**, Revista de Divulgação do Projeto Petrobrás e IF Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, 2012.

SUEHARA, B. B., **Síntese de Nanoativo de Argila Bentonítica para Formulação de Fluidos de Perfuração à Base de Água**, Monografia de Projeto de Graduação, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2013.

THOMAS, J. E., **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**, 2ª Edição, Rio de Janeiro, Brasil, Editora Interciência, 2001.

PEREZ, G. R. M., **Estudo da estabilidade elétrica de fluidos de emulsão inversa usados para perfuração de poços de petróleo**, Monografia de Projeto de Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GUIMARÃES, I. B., **Estudo dos Constituintes dos Fluidos de Perfuração: Proposta de uma Formulação Otimizada e Ambientalmente Correta**, Artigo do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento de Petróleo e Gás, Campinas-SP, 2007.

SILVA NETO, Miguel Arcangelo. **Contribuição Técnica de um Sistema de Emulsão Inversa a Base de Óleos Vegetais para Fluidos de Perfuração**, Dissertação de Mestrado. UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Área de Concentração: Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais, Natal/RN, 2002.

SANTOS, C. A., **Emulsificantes: atuação como modificadores do processo de Cristalização de Gorduras**, Artigo da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, São Paulo, 2014.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. United States: John Wiley and Sons, 5 ed, 1991. Citado na página 24.

## ANEXOS

Última Revisão: 19/08/2011

## BOLETIM TÉCNICO

Fluidos de Perfuração

### SM THIN 1000

**Descrição:**  
O SM THIN 1000 (AMC LIQUI-SPERSE) é um afinante de bentonitas para uso em fluidos de perfuração.  
É um produto à base de polímeros de baixo peso molecular.

**Especificações Técnicas:**  
Solução líquida viscosa de cor amarela escura; pH (sol. 10%): 8,0.

**Principais Vantagens:**  
? Excelente dispersão de argilas por meio de ação química;  
? Evita aprisionamentos de brocas e coroas;  
? Previne entupimento de hastes e brocas;  
? Desenhado para se misturar facilmente;  
? Não altera o pH;

**Aplicação:**  
Aplique ao fluido usando um misturador de aditivos ou em corrente de água com bastante agitação. Pode ser adicionado também por dentro das hastes ou tubos para soltar brocas e coroas que sofreram aprisionamento por argilas expansivas.


**Dosagem:**  
até 10 kg/m³.

**Toxicidade:**  
Produto atóxico.

**Manipulação:**  
Considerando a legislação geral sobre higiene e segurança do trabalho é recomendado o uso de equipamentos de proteção individual - EPI (óculos, máscara e luvas de borracha).

**Embalagem:**  
SM THIN 1000 é comercializado em baldes plásticos resistentes de 20 kg (5,3 gal).

**Armazenagem:**  
Deve ser armazenado em local coberto, ventilado e longe da luz solar.

 **System Mud**  
Fluidos de Perfuração - Drilling Fluids  
www.systemud.com.br

Ultima Revisão: 10/02/2011

# BOLETIM TÉCNICO

## Fluidos de Perfuração

### SM BAC GREEN

**Descrição:**  
Bactericida para uso em fluidos de perfuração. Evita a deterioração de fluidos à base de gomas e amidos modificados pela ação de microorganismos.

**Especificações Técnicas:**  
Líquido incolor, sem cheiro, pH ácido e ação oxidante.

**Principais Vantagens:**

- Produto ecológico;
- Não deixa resíduos após sua aplicação;
- Não é bioacumulativo;
- Ação bactericida e fungicida comprovada;
- Compatibilidade total com variadas formulações de fluidos;

**Aplicação:**  
Aplique o produto diretamente ao fluido já pronto no início da perfuração para obter ação protetiva ou durante a perfuração para evitar a deterioração.


**Dosagem:**  
2 L/m<sup>3</sup>

**Toxicidade:**  
Após sua aplicação, o produto não representa riscos ao meio ambiente e pode ser considerado de baixa toxicidade.

**Manipulação:**  
Considerando a legislação geral sobre higiene e segurança do trabalho é recomendado o uso de equipamentos de proteção individual - EPI (óculos, máscara e luvas de borracha). O produto na forma pura tem ação corrosiva, sendo que esta desaparece totalmente na forma diluída com a dosagem recomendada.

**Embalagem:**  
Galões plásticos de 5 kg

**Armazenagem:**  
Deve ser armazenado em local coberto; ventilado; longe da luz solar; longe do alcance de crianças e de animais.

 **System Mud**  
Fluidos de Perfuração - Drilling Fluids  
an **industrial** limited company

www.systemmud.com.br

Última Revisão: 09/02/2011

## BOLETIM TÉCNICO

### Fluidos de Perfuração

## BARRILHA LEVE

**Descrição:**

Controlador de dureza em fluidos de perfuração. Trata-se de um sal inorgânico solúvel na forma de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Indicado para teores de dureza maiores que 30 ppm.

**Especificações Técnicas:**

Pó branco higroscópico; de densidade 2,25 g/cm<sup>3</sup>; de pH fortemente alcalino (sol.) e solubilidade em água 190g/L.

**Principais Vantagens:**

- Produto de alto desempenho;
- Isento de íons cloreto;
- Fácil aplicação;
- Durabilidade indeterminada;
- Isento de contaminantes;
- Facilmente removível do meio.

**Aplicação:**

Aplica-se à água que será utilizada na confecção do fluido de perfuração, antes da adição de polímeros ou de bentonita.

**Dosagem:**

A partir de 0,1 kg/m<sup>3</sup> a 5 kg/m<sup>3</sup>.

**Toxicidade:**

O produto possui ação corrosiva.

**Manipulação:**

Considerando a legislação geral sobre higiene e segurança do trabalho é recomendado o uso de equipamentos de proteção individual - EPI (óculos, máscara e luvas de borracha).

**Embalagem:**

BARRILHA LEVE é embalada em sacos de 25 kg. (55,13 lb).

**Armazenagem:**

Deve ser armazenado em local coberto, seco, ventilado e longe da luz solar.

Última Revisão: 09/02/2011

# BOLETIM TÉCNICO

## Fluidos de Perfuração

### SM PAC HV

**Descrição:**  
Celulose Poli-Aniônica (PAC) para fluido de perfuração. Destinado a dosagem de viscosidade, controle de filtrado e reboco. Biodegradável e atóxico, para uso em água doce ou salgada.

**Especificações Técnicas:**  
pó branco granulado; 100% solúvel em água; atóxico; aniônico; de grau de pureza > 99,0%; visc Funil Marsh (2,6g/L água destilada) > 45 s/qt; visc Funil Marsh (2,6g/L água salgada) > 40 s/qt; viscosidade Brookfield 2500-3000 cP.

**Principais Vantagens:**

- Alta estabilidade química, com possibilidade de uso em fluidos salgados;
- Melhor resistência à ação de águas com dureza elevada;
- Eleva a viscosidade de 20 a 25 vezes mais que a bentonita;
- Reduz as perdas por filtrações em formações permeáveis;
- Aumenta a estabilidade do poço;
- Melhora a limpeza dos recortes durante a perfuração;
- Melhora a qualidade das amostragens;
- É muito eficiente como viscosificante secundário de bentonitas, onde 1 kg de SM PAC HV pode substituir 1 saco de bentonita (de 25 kg) e ainda conseguir viscosidade superior;

**Aplicação:**  
Antes de aplicar calcule o volume de água contida no tanque e a quantidade de produto de acordo com a dosagem requerida. Aplique vagarosamente, usando um misturador de aditivos ou em corrente de água com bastante agitação. Mantenha a agitação por mais 30 min antes de injetar. Águas duras (excesso de Cálcio) devem ser tratadas previamente com barrilha leve para a obtenção de melhores resultados.

**Dosagem:**  
0,1 a 0,5 % por volume (1 a 5 kg/1000 L)


**Toxicidade:**  
Atóxico e biodegradável.

**Manipulação:**  
Considerando a legislação geral sobre higiene e segurança do trabalho, recomenda-se o uso de equipamentos de proteção individual - EPI (óculos, máscara e luvas de borracha).

**Embalagem:**  
O SM PAC HV é embalado em sacos de 25 Kg. (55,13 lb).

**Armazenagem:**  
Deve ser armazenado em local coberto, ventilado, longe da luz solar e ao abrigo de umidade.

www.systemmud.com.br

 **System Mud**  
Fluidos de Perfuração - Drilling Fluids  
an index limited company





**MIRACEMA-NUODEX**  
INDÚSTRIA QUÍMICA

ADITIVOS PARA LUBRIFICANTES

Home | Contato | Localização | Trabalhe Conosco | Busca | English

Bem-vindo ao website da Miracema-Nuodex - (19) 3728-1000 Segunda-feira, 03 de Dezembro de 2018

Empresa

**Produtos**

- .: Ácidos Graxos
- .: Aditivos para Lubrificantes
- .: Biocidas
- .: Catalisadores
- .: Ésteres
- .: Hidrogenados
- .: Líquido Gerador de Espuma
- .: Mineração e Fertilizantes
- .: Petróleo - Perfuração
- .: Produtos Especiais
- .: Tintas


Imprensa

**Produtos > Aditivos para lubrificação industrial**

**Produto: LIOVAC® 310 P**

Pacote emulgador indicado em formulação de óleos solúveis para corte de metais e fluido desmoldante.

É recomendado para uso em óleo mineral parafínico Neutro leve (OB-29). Forma uma emulsão estável, homogênea, de cor branca e com excelentes propriedades anticorrosivas, antiespumante, dispersante e germicidas de largo espectro.



**MIRACEMA-NUODEX**  
INDÚSTRIA QUÍMICA

Home | Contato | Localização | Trabalhe Conosco | Busca | English

Bem-vindo ao website da Miracema-Nuodex - (19) 3728-1000 Segunda-feira, 03 de Dezembro de 2018

Empresa

**Produtos**

- .: Ácidos Graxos
- .: Aditivos para Lubrificantes
- .: Biocidas
- .: Catalisadores
- .: Ésteres
- .: Hidrogenados
- .: Líquido Gerador de Espuma
- .: Mineração e Fertilizantes
- .: Petróleo - Perfuração
- .: Produtos Especiais
- .: Tintas

Imprensa

**Produtos > Ésteres > Derivados de ácidos graxos de origem vegetal**

**LIOVAC® 3218**

Éster metílico de ácido graxo de óleo de soja. Apresenta baixa viscosidade e ótimas propriedades lubrificantes para fluidos de trabalho com metais.

Além de ser indicado como fluido lubrificante é também um combustível alternativo para veículos ou equipamentos movidos a diesel (Biodiesel Europeu).

Viscosidade cSt (40° C): 3,0 (Valor típico)